উচ্চ-মাধ্যমিক পদার্থবিদ্যা

দ্বিতীয় খণ্ড

[একাদশ শ্রেণীর পাঠ্য]

শ্রীসুধীশকুমার মুখোপাধ্যায়

অধ্যাপক, পদার্থবিদ্যা বিভাগ,

যাদবপুর বিশ্ববিদ্যালয়, কলিকাতা

সহযোগী

শ্রীসুনীলকুমার লাহিড়ী

অধ্যাপক, পদার্থবিদ্যা বিভাগ,

চন্দননগর কলেজ ; ভূতপূর্ব অধ্যাপক,

প্রেসিডেন্সী কলেজ, কলিকাতা

নবারুণ প্রকাশনী

সি-৫১, কলেজ স্ট্রিট মার্কেট,

কলিকাতা-১২

১৩৬৩

॥ প্রকাশিকা ॥

শ্রীমতী হেনা লাহিড়ী

৭১/২ জি, নেতাজী সুভাষচন্দ্র বসু রোড

কলিকাতা-৪০

॥ মুদ্রক ॥

শ্রী সৌরেন্দ্রনাথ মিত্র, বোধি প্রেস, ৫ শঙ্কর ঘোষ লেন, কলিকাতা-৬ ॥ শ্রীভারতী প্রেস, ১১৪/১ এ আমহার্স্ট স্ট্রিট, কলিকাতা-৯ ॥ শ্রীকৃষ্ণজীবন চট্টোপাধ্যায়, টাইপ আর্ট প্রিন্ট, ১৫/এ আমহার্স্ট স্ট্রিট, কলিকাতা-৯ ॥ শ্রীদিলীপ মুখোপাধ্যায়, বাণীরেখা প্রেস, ২৭৫ বি, বি, গাঙ্গুলী স্ট্রিট, কলিকাতা-১২ ॥

উচ্চ-মাধ্যমিক পদার্থবিদ্যা

দ্বিতীয় খণ্ড

- সাধারণ পদার্থবিদ্যা
- তাপবিদ্যা
- চুম্বক-তত্ত্ব
- স্থির বিদ্যুৎ
- চল বিদ্যুৎ
- শব্দ বিজ্ঞান

গ্রন্থকারের ভূমিকা

১৩৬১ সালে উচ্চ-মাধ্যমিক বিদ্যালয়গুলির নবম শ্রেণীর ছাত্র-ছাত্রীর হাতে আমাদের লিখিত উচ্চ-মাধ্যমিক পদার্থবিদ্যার প্রথম খণ্ড তুলিয়া দিয়াছিলাম —এই বৎসর তাহারা একাদশ শ্রেণীতে, যথা সময়েই তাহাদের হাতে দ্বিতীয় খণ্ড তুলিয়া দিলাম। প্রথম খণ্ড প্রকাশের পর হইতেই শিক্ষক ও ছাত্রমহল হইতে যথাশীঘ্র দ্বিতীয় খণ্ড প্রকাশ করিবার জন্য আমাদের নিকট তাগিদ আসিতে থাকে। আমরা এই তাগিদকে আমাদের পুস্তকের সাফল্যের স্বীকৃতি জ্ঞান করিয়া আনন্দিত হই এবং তাহাদের অনুরোধ অনুসারে দ্বিতীয় খণ্ড প্রকাশ করিবার কথা চিন্তা করিতে থাকি। গত বৎসরেই দ্বিতীয় খণ্ড প্রকাশ করিবার ইচ্ছা ছিল, কিন্তু সুবিধা সুযোগের অভাবে পারি নাই। সেজন্য আমরা দুঃখ প্রকাশ করিতেছি। বইটির প্রকাশের ব্যাপারে বন্ধুবর শ্রী সুনীলকুমার লাহিড়ী ও প্রকাশক শ্রীমতী হেনা লাহিড়ীর আপ্রাণ সহযোগিতার জন্য কৃতজ্ঞতা স্বীকার করিতেছি।

বন্ধুবর শ্রীশৈলেশ সেনগুপ্ত, শ্রীসনৎকুমার বসু এবং সোদর-প্রতিম শ্রীদেবাশিস ভট্টাচার্য এবং শ্রীশ্যামল কুমার ব্যানার্জী ও শ্রীমিহির ভট্টাচার্যের সহায়তা না পাইলে এবৎসর এই পুস্তক প্রকাশিত হইত না। তাঁহাদের ঋণ অকুণ্ঠ চিত্তে স্বীকার করিতেছি।

নবারুণ প্রকাশনীর শ্রীসুবোধ রায় ও শ্রীস্বদেশ বসুও আমার ধন্যবাদার্হ হইয়াছেন।

প্রথম খণ্ডের ন্যায় এই খণ্ডও চিত্রে ও অনুশীলনে সমৃদ্ধ করিবার চেষ্টা করা হইয়াছে। দ্রুত প্রকাশনের জন্য কিছু কিছু ভুল-ভ্রান্তি রহিয়া গিয়াছে। সে-সম্বন্ধে সমালোচনা সাদরে গৃহীত হইবে।

আশা করি, প্রথম খণ্ডের মত এই খণ্ডও শিক্ষক ও ছাত্র-ছাত্রীগণের সহায়ক হইবে।

শ্রীসুধীশকুমার মুখোপাধ্যায়

প্রকাশকের নিবেদন

শিক্ষক ও ছাত্রছাত্রীদের নিকট হইতে অনবরত তাগিদ আসা সত্ত্বেও উচ্চমাধ্যমিক পদার্থবিদ্যার দ্বিতীয় খণ্ড যথানির্দিষ্ট সময়ের পূর্বে প্রকাশ করা গেল না। সেজন্য আন্তরিক দুঃখ প্রকাশ করিতেছি।

মাত্র কয়েক মাসে এত বড় বিজ্ঞান-পুস্তকের মুদ্রণ সমাধা প্রায় অসম্ভব। সেজন্য যে ভুল ভ্রান্তি রহিয়া গেল তাহার জন্য পাঠকদের নিকট মার্জনা ভিক্ষা করিতেছি।

শ্রীমতী হেনা লাহিড়ী।

সূচীপত্র

ভূমিকা

সাধারণ পদার্থবিদ্যা
(General Physics)

তাপবিদ্যা
(Heat)

চুম্বকতত্ত্ব
(Magnetism)

---

* প্রথম হইতে দশম পরিচ্ছেদ উচ্চ-মাধ্যমিক পদার্থবিদ্যার প্রথম খণ্ডে দ্রষ্টব্য।

** প্রথম হইতে অষ্টম পরিচ্ছেদ উচ্চ-মাধ্যমিক পদার্থ বিদ্যার প্রথম খণ্ডে দ্রষ্টব্য

স্থির বিদ্যুৎ

(Electrostatic)

চল বিদ্যুৎ

(Current Electricity)

শব্দ-বিজ্ঞান
(Sound)

সাধারণ পদার্থবিদ্যা

একাদশ পরিচ্ছেদ

প্রাথমিক বলবিদ্যা

(Elementary Mechanics)

11.1. **পুনরাবৃত্তি :** পূর্ববর্তী পর্য্যায়ে তোমরা বল ও গতি, তাহাদের সম্বন্ধ, প্রভৃতি সম্বন্ধে কিছু জানিয়াছ। বল ও গতির সম্পর্কে ভালভাবে জানিতে গেলে আরও বিস্তৃত আলোচনার প্রয়োজন হয়। এই প্রবন্ধে তাহাই করা হইবে। তবে তাহার পূর্বে পুরাতন কথাব কিছু পুনরাবৃত্তি প্রয়োজন।

(a) **নিউটনের গতিসূত্র :** নিউটনের গতিস্থত্র তিনটি নিম্নরূপ :—

(i) কোন বস্তু যদি স্থির অবস্থায় থাকে, বা একই সরলরেখায় সমগতি বিশিষ্ট অবস্থায় থাকে, তবে বাহির হইতে উহার উপর কোন বল প্রযুক্ত না হইলে উহার সেই অবস্থার পরিবর্তন হইবে না।

(ii) বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তনের হার বাহির হইতে প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক, এবং বলটি যেদিকে প্রযুক্ত হইয়াছে, ঐ পরিবর্তনও সেদিকে হইবে।

(iii) প্রতিটি ক্রিয়ার সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া রহিয়াছে।

(b) **বল :** নিউটনের প্রথম ও দ্বিতীয় গতিস্থত্র হইতে বলের ধারণা সম্পূর্ণ হয়। প্রথম স্থত্র হইতে বলেব সংজ্ঞা পাওয়া যায়। বল হইল এমন এক রাশি যাহা কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইলে উহার স্থির অবস্থা বা গতিশীল অবস্থার পরিবর্তন সাধন করে বা পরিবর্তন সাধনেব প্রয়াস পায়।

বল প্রয়োগেই যে সর্বদা বস্তুটির অবস্থার পরিবর্তন হয় তাহা নয়। আমরা যদি ঘরের দেওয়ালে ধাক্কা মাবি তাহাতে দেওয়ালটি স্থির অবস্থা হইতে চলা স্থরু করে না।

দ্বিতীয় স্থত্র হইতে বলের পরিমাপ পাওয়া যায়।

ভরবেগের পরিবর্তনের হার হইল mf, [m=ভর, f=ত্বরণ]

এই স্থত্রের সাহায্যে—$P \propto mf$, [P=বল], অথবা $P=kmf$।

ঠিক মতো একক নির্বাচন করিলে $k=1$ হয়, এবং তখন $P=mf$।

C. G. S. পদ্ধতিতে বলের একক 1 ডাইন। 1 ডাইন বল প্রয়োগে 1 গ্রাম ভরের 1 সেমি./ব.সে. ত্বরণ হয়।

F. P. S. পদ্ধতিতে বলের একক 1 পাউণ্ডাল। 1 পাউণ্ডাল বল প্রয়োগে 1 পাউণ্ড ভরে 1 ফু./ব.সে. ত্বরণ সৃষ্টি করা যায়।

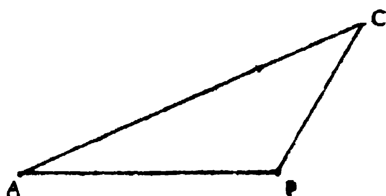
ইহা ছাড়া বলের দুইটি মহাকর্ষীয় একক আছে।

1 পাউণ্ড-ওজন বল $=g$ পাউণ্ডাল ($g=$প্রায় 32 ফু./ব.সে.) ;

1 গ্রাম-ওজন $=g$ ডাইন ($g=980$ সেমি./ব.সে. প্রায়)।

11.2. **স্কেলার ও ভেক্টর রাশি (Scalar and Vector Quantities) :**

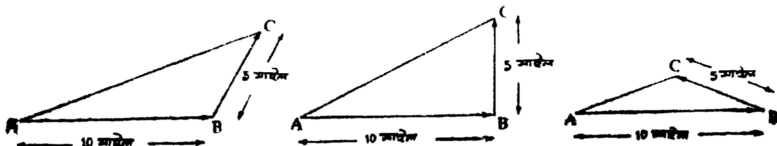
তুমি 5 কিলোগ্রাম চিনির সহিত 2 কিলোগ্রাম চিনি যোগ করিলে তোমার মোট 7 কিলোগ্রাম চিনি হইল। আমার কাছে দশটাকা ছিল, তাহার মধ্যে দুই টাকা ব্যয় করিলে আমার কাছে আর আট টাকা রহিল। কিন্তু 11·1 নং চিত্রটি দেখ।



11·1

একটি গাড়ী পূর্বদিকে A হইতে B পর্যন্ত 6 মাইল গেল, এবং B হইতে C পর্যন্ত উত্তর-পূর্বদিকে 5 মাইল গেল। গাড়ীটি দুই পর্য্যায়ে মোট 11 মাইল গেল। কিন্তু গাড়ীটির মোট সরণ হইল AC পরিমাণ, যাহা $6+5=11$ মাইল নহে, তদপেক্ষা কম।

11.2 নং চিত্রে তিনটি ক্ষেত্রে দেখিতে পাইবে, একটি গাড়ী A হইতে B পর্যন্ত 10 মাইল গেল, এবং B হইতে C পর্যন্ত আবার 5 মাইল গেল,



11·2

ফলে তাহার মোট সরণ হইল AC পরিমাণ। কিন্তু তিনটি ক্ষেত্রে AC-এর মান বিভিন্ন হইয়াছে। সর্ববামের ক্ষেত্রে AC সর্বাপেক্ষা বেশী, সর্বদক্ষিণ ক্ষেত্রে কম। AC-এর মান শুধু প্রথম পর্যায়ের সরণ AB ও দ্বিতীয়

পর্যায়ের সরণ BC-এর মানের উপর নির্ভর করে না, ইহাদের মধ্যের কোণ, মূলতঃ প্রত্যেকের অভিমুখের উপর নির্ভর করে। আবার AC-এর মানের পরিবর্তন শুধু নয়, ইহার অভিমুখও নানা প্রকারের হয়।

প্রথম দুইটি উদাহরণে, ভর বা অর্থের পরিমাণ, ইহাদের বলা হয় স্কেলার রাশি। স্কেলার কথাটির উদ্ভব স্কেল হইতে। স্কেলে যেমন দৈর্ঘ্যকে সাধারণভাবে যোগ করা যায়, স্কেলার রাশিরও যোগ-বিয়োগ সাধারণ গণিতের নিয়মানুসারেই হয়। যে সমস্ত রাশির সংজ্ঞা নির্ধারণের বেলায় কেবলমাত্র মানই প্রয়োজনীয় মাত্রা, দিক বা অভিমুখ জানিবার প্রয়োজন হয় না তাহাদের স্কেলার রাশি বলে।

ভর, দৈর্ঘ্য, আয়তন, ওজন, সময় প্রভৃতি স্কেলার রাশি।

বিজ্ঞানে আর এক ধরণের রাশি আছে, যেমন পরবর্তী উদাহরণের সরণ, যাহাদের পুরাপুরি সংজ্ঞা নির্দ্ধারণের জন্য শুধুমাত্র মান নির্দেশ করিতে হয় না, অভিমুখও জানাইতে হয়। যেমন বস্তুটির 10 মাইল সরণ হইল বলিলে প্রশ্ন আসে সেই সরণ কোন্‌দিকে হইল। এই ধরণের রাশিকে বলে ভেক্টর রাশি। স্কেলার রাশির শুধুমাত্র মান আছে, ভেক্টর রাশির মান ও অভিমুখ দুইই আছে।

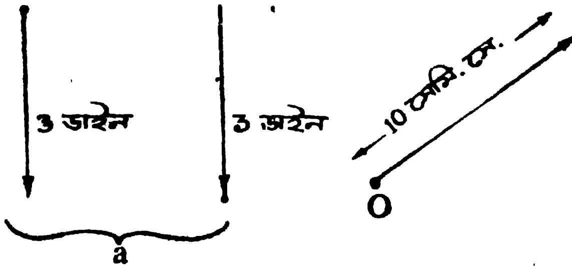
দুইটি ভেক্টর রাশির যোগফল সাধারণ গণিতের নিয়মানুসারে হয় না, বীজগণিতেব সূত্র অনুসারে হয়। 11·2 নং চিত্রে দেখিবে, গাড়ীটির দুই পর্যায়ে সরণ যথাক্রমে 10 মাইল ও 5 মাইল হইলেও মোট সরণ 15 মাইল হয় নাই। 15 মাইল সরণ হইতে পারিত কেবল সেই ক্ষেত্রেই যেখানে দুই পর্যায়ের সরণের অভিমুখ একই হইত। 11·2 নং চিত্রে মোট সরণ AC-কে দুই পর্যায়ের সরণের লব্ধি (Resultant) বলে এবং AB ও BC-কে উপাংশ (Component) বলে।

সরণ, বেগ, ত্বরণ, বল প্রভৃতি ভেক্টর রাশির উদাহরণ।

11.3. ভেক্টর রাশিকে সরল রেখার দ্বারা প্রকাশ (Representation of a Vector by a straight line) : ভেক্টর রাশির মান ও দিক আছে। উহার প্রয়োগ-বিন্দু, উহার মান ও উহার অভিমুখ জানা হইলেও ভেক্টর রাশিকে সম্পূর্ণ জানা হইয়া যায়। সেইজন্য ভেক্টর রাশিকে একটি তীর চিহ্নিত সরলরেখার দ্বারা সূচীত করা যায়। সরল-রেখাটির দৈর্ঘ্য দ্বারা ভেক্টর রাশির মান, তীর চিহ্ন দ্বারা উহার অভিমুখ,

এবং যে বিন্দুতে উহা প্রযুক্ত হইয়াছে সরলরেখার এক মুখকে সেই বিন্দুতে যুক্ত করিয়া ভেক্টর রাশিকে দেখানো যায়।

11·3(a) চিত্রে কোন বিন্দুতে দক্ষিণ দিকে 3 ডাইন বল প্রয়োগ দেখানো



11·3

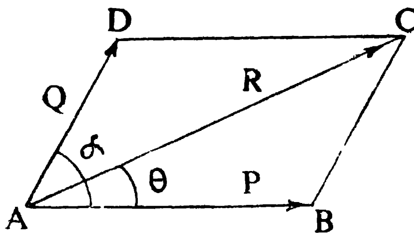
হইয়াছে। স্কেলের 1 ইঞ্চি দৈর্ঘ্যকে 3 ডাইন বল হিসাবে ধরিয়া সেই বিন্দুতে দক্ষিণ মুখী 1" দীর্ঘ একটি সরলরেখা অঙ্কিত হইয়াছে।

11·3 (b) নং চিত্রে O বস্তুকণার উত্তর-পূর্বদিকে 9 সেমি./সেকেণ্ড গতিবেগ দেখানো হইয়াছে। O বিন্দু হইতে উত্তর-পূর্বদিকে $1\frac{1}{2}$" দীর্ঘ একটি রেখা অঙ্কিত হইয়াছে। 1"=6 সেমি./সেকেণ্ড ধরা হইয়াছে।

11.4. দুইটি ভেক্টর রাশির যোজন ও লব্ধি নির্ণয় (Composition of two vectors and determination of the resultant) :

দুইটি ভেক্টর রাশির লব্ধির মান ও অভিমুখ সামন্তরিকের সূত্র (Law of parallellogram of vectors) সহযোগে বাহির করা চলে।

সামন্তরিকের সূত্র (Law of parallellogram) : যদি কোন বিন্দুতে প্রযুক্ত দুইটি ভেক্টর রাশির মান ও অভিমুখ উভয়তঃ কোন সামন্তরিকের পাশাপাশি দুই বাহু দ্বারা প্রকাশ করা চলে, তবে ঐ দুই ভেক্টরের লব্ধিকে সামন্তরিকের সেই বিন্দু দ্বারা অঙ্কিত কর্ণ দ্বারা সূচিত করা যাইবে।



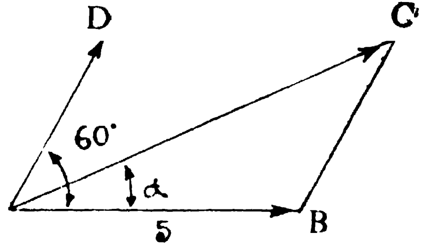
11·4

ব্যাখ্যা ঃ 11·4 নং চিত্রে P ও Q দুইটি ভেক্টর A বিন্দুতে ক্রিয়া করিতেছে। মনে কর উহাদের যথাক্রমে AB ও AD রেখা দ্বারা মান ও অভিমুখ উভয়তঃ প্রকাশ করা গেল।

এখন যদি AB ও AD রেখা দ্বারা ABCD সামন্তরিক আঁকা যায়, তবে AC কর্ণ মান ও অভিমুখ উভয়তঃই P ও Q-এর লব্ধি R-কে প্রকাশ করিবে।

11.5. সামন্তরিকের সূত্রের প্রয়োগ (Application of Law of parallellogram of vectors): সামন্তরিকের সূত্রের প্রয়োগে দুইটি ভেক্টরের লব্ধি বাহির করিতে দুইটি পদ্ধতি প্রয়োগ করা যায় :—

1. **জ্যামিতিক অংকন :** ভেক্টর রাশি দুইটিকে জ্যামিতিক অংকনের সাহায্যে দুইটি নির্দিষ্ট মাপের রেখায় প্রকাশ করা হয়, এবং উহাদের মধ্যের নির্দিষ্ট কোণ মাপিয়া অংকন করা হয়। এখন সামন্তরিক অংকন করিয়া স্কেলের সাহায্যে কর্ণের পরিমাপ করা হয় ও কোন একটি ভেক্টরের সহিত উহা কত ডিগ্রী কোণ করিয়াছে তাহা চাঁদার সাহায্যে মাপিয়া লইলেই লব্ধির মান ও অভিমুখ বাহির হয়।



11·5

11·5 নং চিত্রে ইহার একটি উদাহরণ দেখা যাইতেছে। একটি নদীতে ঘণ্টায় 5 মাইল বেগে স্রোত বহিতেছে। স্রোতোধারার সহিত 60° কোণে ঘণ্টায় 3 মাইল বেগে দাঁড় বহিলে 1 ঘণ্টায় নৌকা কোথায় যাইবে? চিত্রে 0·3" = 1 মাইল/ঘণ্টা ধরা হইয়াছে। AB রেখাটি 1·5" দীর্ঘ, ইহা স্রোতের গতি ও অভিমুখ নির্দেশ করিতেছে। AD রেখাকে 0·9" দীর্ঘ করিয়া AB-এর সহিত 60° কোণে অংকন করা হইয়াছে। তাহা হইলে AD রেখা দাঁড়ের গতি (3 মাইল/ঘণ্টা) ও অভিমুখ প্রকাশ করিতেছে। এখন ABCD সামন্তরিক আঁকিয়া AC কর্ণ বাহির করা হইল। ইহার দৈর্ঘ্য ও অভিমুখ নৌকার লব্ধি বেগ দিবে। স্কেলের সাহায্যে মাপিয়া AC=2·1 ই., অতএব লব্ধি বেগের মান=7 মাইল/ঘণ্টা। ∠CAB=21·8°, অতএব নৌকা স্রোতোধারার সহিত 21·8° কোণে চলিবে। 1 ঘণ্টা পরে নৌকা C অবস্থানে পৌছাইবে।

2. **বীজগণিতের সূত্রের সাহায্যে :**

11·4 নং চিত্রে প্রমাণ করা যায় যে,

$$AC^2 = AB^2 + AD^2 + 2AB.AD \cos \alpha \text{ এবং } \tan\theta = \frac{AD \sin \alpha}{AB + AD \cos \alpha},$$

অতএব উপরের সংকেত দুটির সাহায্যে দুটি ভেক্টর P, Q,-এর লব্ধি R-কে সম্পূর্ণভাবেই পাওয়া যাইবে। এই নীতির সুবিধা হইল যে এখানে শুদ্ধভাবে চিত্রাংকনের প্রয়োজন হয় না।

মনে কর একটি 2 পাউণ্ড ভরের বস্তুকণার উপর একই সংগে 10 পাউণ্ডাল ও 6 পাউণ্ডালের দুটি আকর্ষণী বল পরস্পর 60° কোণে প্রযুক্ত হইল, তাহা হইলে বস্তুটির ত্বরণ কোন্ দিকে ও কতটা হইবে বাহির করিতে হইবে। বলাই বাহুল্য, লব্ধি বলের দিকেই ত্বরণ হইবে। মনে কর লব্ধি বল $=R$, উপাংশ বলগুলি হইল $P=10$ পাউণ্ডাল, $Q=6$ পাউণ্ডাল। এবং $\alpha=60°$।

আমরা জানি $R^2=P^2+Q^2+2PQ\cos\alpha$

$\therefore\quad R^2=10^2+6^2+2.10.6.\cos 60°$

$=196$

$\therefore\quad R=14$ পাউণ্ডাল।

এখন, নিউটনের সূত্র অনুসারে, বল R, ভর m ও ত্বরণ হইলে,

$$R=mf,\quad \therefore\quad f=\frac{R}{m}=\frac{14}{2}=7 \text{ ফু./বর্গসে}$$

P বলের অভিমুখের সহিত লব্ধির অভিমুখ θ কোণ করিলে,

$$\tan\theta=\frac{Q\sin\alpha}{P+Q\cos\alpha}=\frac{6\sin 60°}{10+6\cos 60°}=\frac{3\sqrt{3}}{13}$$

$$\therefore\quad \theta=\tan^{-1}\frac{3\sqrt{3}}{13}$$

অতএব, 10 পাউণ্ডাল বলটি যেদিকে ক্রিয়া করিতেছে তাহার সহিত $\tan^{-1}\frac{3\sqrt{3}}{13}$ কোণে ত্বরণ হইবে।

11.6. অনুশীলন :

(a) একটি বস্তুকণার উপর 16 ডাইন ও 12 ডাইন বল পরস্পর 30° কোণে ক্রিয়া করিতেছে। বস্তুটির উপর লব্ধি বল কত?

মনে কর লব্ধি বল $=R$।

$\therefore\quad R^2=16^2+12^2+2.16.12\cos 30°$

$=342{\cdot}5$

$\therefore\quad R=17{\cdot}96$ ডাইন (প্রায়)।

আবার 16 ডাইন বলের সহিত লব্ধির অভিমুখ যদি θ কোণ করে তবে
$\tan\theta = \frac{12 \sin 30^\circ}{16+12 \cos 30^\circ} = 0.2276$ (প্রায়)।

(b) 10 গ্রাম ভরের একটি বস্তু 15 সেমি./সেকেণ্ড বেগে পূর্বদিকে যাইতেছিল। উহার উপর 3 সেকেণ্ড ধরিয়া 20 ডাইন একটি বল উত্তর মুখে কাজ করিল। বস্তুটির বেগ কত হইবে ?

বলটি উত্তর দিকে কাজ করিতেছে, অর্থাৎ উত্তরমুখী ত্বরণ সৃষ্টি করিতেছে। ত্বরণের পরিমাণ f হইলে,

$20 = 10 \times f$ [20 ডাইন = বল,

$\therefore f = 2$ সেমি./ব.সে.। 10 গ্রাম = ভর]

অতএব 3 সেকেণ্ড পরে উত্তরমুখী বেগ,

$v = 3 \times 2 = 6$ সেমি./সে.: কারণ পূর্বে উত্তরমুখে কোন বেগ ছিল না।

∴ এখন বস্তুটির পূর্বমুখী 10 সেমি./সে. বেগের সহিত উত্তরমুখী 6 সেমি./সে. বেগ যুক্ত হইল।

সুতরাং লব্ধি বেগ V হইলে,

$$V^2 = 10^2 + 6^2 + 2.10.6.\cos 90^\circ$$
$$= 136$$

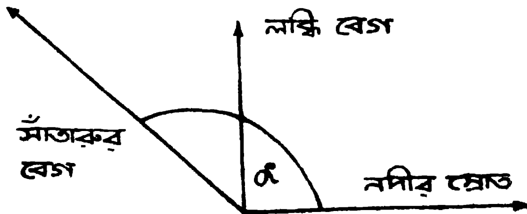
$\therefore V = 11 \cdot 66$ সেমি./সে.।

লব্ধি বেগের দিক হইবে, $\theta = \tan^{-1} \frac{6 \sin 90^\circ}{10+6 \cos 90^\circ} = \tan^{-1} \frac{3}{5}$

$$= \tan^{-1} 0 \cdot 6 = 30^\circ 58'$$।

অতএব বস্তুটি পূর্বের গতিপথের সহিত 30°58′ কোণে উত্তর-পূর্ব দিকে 11·66 সেমি./সে. বেগে চলিতে থাকিবে।

(c) একটি লোক ঘণ্টায় 4 মাইল বেগে সাঁতার দিতে পারে। কোন



11·6

নদীতে 3 মাইল/ঘণ্টা স্রোত থাকিলে সে যদি সোজা নদী পার হইতে চায় তবে তাহাকে কোন্ অভিমুখে ও কত বেগে সাঁতার কাটিতে হইবে ?

লোকটির এমন ভাবে সাঁতার কাটিতে হইবে যেন তাহার ও নদী-স্রোতের লব্ধি বেগ নদী-স্রোতের সহিত সমকোণে হয়।

$$\therefore \quad \theta = \tan^{-1} \frac{4 \operatorname{Sin} \alpha}{3+4 \operatorname{Cos} \alpha} = 90^\circ$$

$\therefore \quad \tan \theta = \infty,$ অর্থাৎ $3+4 \operatorname{Cos} \alpha = 0$

$\therefore \quad \operatorname{Cos} \alpha = -\frac{3}{4} = -0.75$

$\therefore \quad \alpha = 138.6^\circ$ ।

লব্ধি বেগের মান R হইলে,

$$R^2 = 3^2 + 4^2 + 2.3.4. \operatorname{Cos} 138.6^\circ$$
$$= 9 + 16 - 18 = 7$$

$\therefore \quad R = \sqrt{7} = 2.646$ মাইল/ঘণ্টা।

(d) 2 মাইল স্রোত বিশিষ্ট একটি নদী সোজাসুজি পার হইতে হইলে একজন সাঁতারুর স্রোতের সহিত 120° কোণে রওনা হইতে হয়। স্থির জলে সাঁতারুর সাঁতারের বেগ কত ?

চিত্র নং 11·6 দেখ। মনে কর লোকটির সাঁতারের বেগ v, এবং লব্ধি বেগ R, লব্ধি বেগের অভিমুখ নদী স্রোতের সমকোণী।

সাঁতারের লব্ধি বেগের অভিমুখ

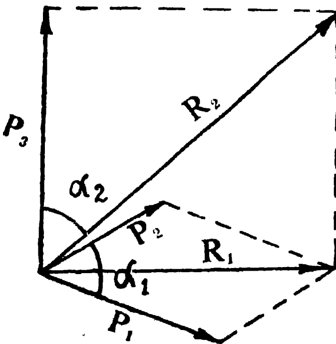
$$\tan \theta = \frac{v \operatorname{Sin} 120^\circ}{2 + v \operatorname{Cos} 120^\circ}$$

কিন্তু $\theta = 90^\circ$ হওয়ায় $\tan \theta = \infty$

$\therefore \quad 2 + v \operatorname{Cos} 120^\circ = 0,$

অথবা $2 = v \times 0.5000$ $\quad v = 4$ মাইল/ঘণ্টা।

11.7. দুই-এর অধিক ভেক্টর রাশির লব্ধি (Resultant of more than two vectors) :



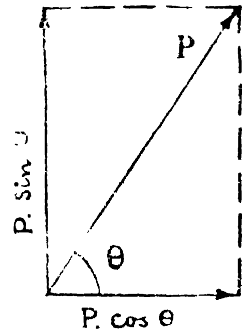
11·7

মনে কর P_1, P_2, P_3 প্রভৃতি ভেক্টর কোন বিন্দুতে প্রযুক্ত হইল। ইহাদের লব্ধি বাহির করিতে হইলে প্রথমে সামন্তরিকের সূত্রের সাহায্যে দুইটি ভেক্টর P_1 ও P_2-এর লব্ধি R_1 বাহির কর। এখন R_1 ও P_3-এর লব্ধি R_2 বাহির কর। এই উপায়ে সমস্ত ভেক্টরগুলির লব্ধি বাহির করা যায়।

11.৪. **কোন ভেকৃটরের বিয়োজন (Resolution of a vector) :**
একাধিক ভেকৃটরের যোজনের পরিবর্তে কখন কখন একটি ভেকৃটরকে ভাঙিয়া নির্দিষ্ট দুইদিকে দুইটি ভেকৃটরে পরিণত করিবার প্রয়োজন আসিতে পারে। একটি ভেকৃটরকে ভাঙিয়া দুইটি বিভিন্নমুখী ভেকৃটরে পরিণত করার নাম ভেকৃটরের বিয়োজন ; এবং ঐ দুইটি ভেকৃটরকে মূল ভেকৃটরের উপাংশ (Component) বলে।

মনে কর, রেল লাইনের উপর একটি মালগাড়ীর ওয়াগন দাঁড়াইয়া আছে। মজুরেরা যদি উহাকে সোজা ঠেলে তবে উহা লাইনের উপর চলিবে। কিন্তু লাইনের সহিত কোণাকুণি ভাবে ঠেলিলেও ওয়াগনটি লাইনের উপরই চলে, বল-প্রয়োগের দিকে চলিতে পারে না, কারণ লাইন উহাকে নিজের অভিমুখে চলিতে বাধ্য করে। এক্ষেত্রে প্রযুক্ত বলের লাইন অভিমুখী উপাংশ মাত্র কাজ করিতে পারে।

কোন ভেকৃটরকে যে কোন দুইদিকে বিয়োজিত করা যায় বটে, কিন্তু সাধারণতঃ উহাকে পরস্পর সমকোণী দুইদিকে বিয়োজিত করিবার প্রয়োজনই সর্বাপেক্ষা অনুভূত হয়। আমরা সেই ক্ষেত্রটিই দেখিব।



11·8

11·8 নং চিত্রে P ভেকৃটরকে দুটি সমকোণী উপাংশে বিয়োজিত করিয়া দেখানো হইয়াছে। P-এর সহিত θ° কোণের উপাংশটির পরিমাণ $P\cos\theta$, এবং $P\cos\theta$-এর সহিত সমকোণী উপাংশের পরিমাণ $P\sin\theta$।

সামন্তরিকের সূত্র হইতে ইহা সহজেই প্রমাণিত হয়। দুইটি উপাংশ $P\cos\theta$ ও $P\sin\theta$-কে যোজন করিলে লব্ধির পরিমাণ হয়—

$$R=\sqrt{P^2\cos^2\theta+P^2\sin^2\theta+2P\cos\theta.\ P\sin\theta^\circ\ \cos 90^\circ}$$

$$=\sqrt{P^2\cos^2\theta+P^2\sin^2\theta}=P$$

$\therefore\ R=P$।

R-এর অভিমুখ $\phi=\tan^1\dfrac{P\sin\theta}{P\cos\theta}=\tan^1\tan\theta=\theta$ অর্থাৎ R ও P একই ভেকৃটর।

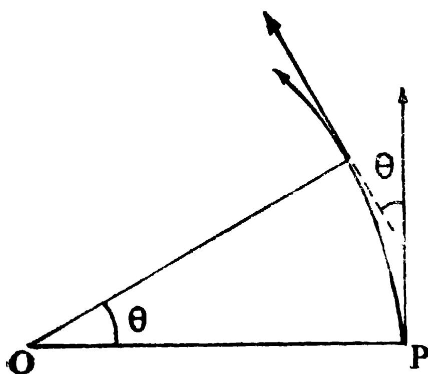
বিশেষ দ্রষ্টব্য : কোন ভেক্টরের নিজের সমকোণে কোন উপাংশ থাকে না। $\theta = 90°$ হইলে, সমকোণে P-এর উপাংশ $= P \cos 90° = 0$।

11.9. বল প্রয়োগে ঘূর্ণন গতির সৃষ্টি : কোন স্থির বস্তুকণার উপর বল প্রয়োগ করিলে উহার ত্বরণ হয় ও উহা একই সরলরেখায় ক্রমবর্ধমান বেগে চলিতে থাকে। বস্তুটির প্রারম্ভিক বেগ থাকিলে বল প্রয়োগের দ্বারা উহার বেগের মান ও দ্রুতি পরিবর্তিত করিয়া নূতন চলন বেগ দেওয়া যায়।

সাধারণতঃ বল প্রয়োগে চলন (Translation) হয়। কিন্তু কতকগুলি বিশেষ ক্ষেত্রে বলপ্রয়োগে ঘূর্ণনের সৃষ্টি করা যায়।

11.10. বস্তুকণার বৃত্তপথে পরিভ্রমণ (Motion of a particle along a circle) : কোন বস্তুকে বৃত্তাকার পথে চালাইতে হইলে, উহার উপর সর্বদা সেই বৃত্তের কেন্দ্রের অভিমুখী বল প্রয়োগ করিতে হয়।

মনে কর (চিত্র নং 11.9) একটি বস্তুকণা বৃত্তাকার পথে চলিবার অবকাশে P হইতে Q-তে পৌঁছাইল। উহার পথের যে কোন বিন্দুতে দ্রুতি হইল সেই বিন্দুর স্পর্শকের অভিমুখী। অতএব প্রতি-মুহূর্তে বস্তুটির দ্রুতির অভিমুখ বদলাইয়া যাইতেছে। লক্ষ্য করিয়া দেখ, বস্তুটি যদি সমদ্রুতিতে চলে, তবে



11·9

উহার বেগের মাপ বদলাইতেছে না, কেবলমাত্র অভিমুখ বদলাইয়া যাইতেছে। বেগ ভেক্টর রাশি। অতএব উহার অভিমুখ বদলাইবার অর্থই বেগ বদ্‌লানো। চিত্রে P ও Q-তে বস্তুটির বেগ দেখিতে পাইতেছ। এই সময়ের মধ্যে বেগের θ দিক পরিবর্তন হইয়াছে। এই দিক পরিবর্তন (কেবল মাত্র) তখনই সম্ভব যদি বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে একটি ত্বরণ সর্বদাই বস্তুটির উপর ক্রিয়া করে। বস্তুটির ত্বরণ হইবার অর্থ বস্তুটির উপর কেন্দ্রমুখীন একটি বল প্রযুক্ত হওয়া। এই বলকে **অভিকেন্দ্র বল (Centripetal force)** বলে।

বস্তুটির ভর m, দ্রুতি v, এবং বৃত্তের ব্যাসার্ধ r হইলে,

$$\text{অভিকেন্দ্র বলের পরিমাণ} = \frac{mv^2}{r} \text{।}$$

$$\text{অতএব ত্বরণের পরিমাণ} = \frac{v^2}{r} \text{।}$$

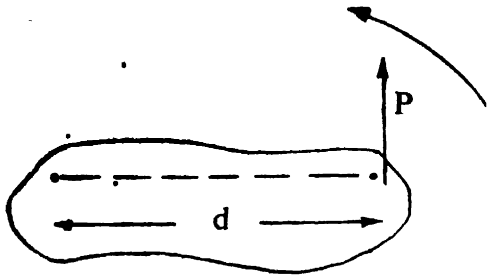
নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী প্রতিটি ক্রিয়ার একটি সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়া আছে। সুতরাং কোন বস্তু বৃত্তাকারে পরিভ্রমণ করিলে উহার উপর যে পরিমাণ অভিকেন্দ্র বল প্রয়োগ করিতে হয়, ঠিক সমপরিমাণ অপকেন্দ্র বল (Centrifugal force) বস্তুটির উপর কেন্দ্র হইতে বাহির অভিমুখে ক্রিয়া করে।

একটি দড়িতে এক টুকরা ইঁট বাধিয়া দড়ির এক মাথা শক্ত করিয়া ধরিয়া ইঁটটিকে বৃত্তাকার পথে ঘুরাও। দড়ির টান ইঁটের উপর অভিকেন্দ্র বল প্রয়োগ করিবে। সুতরাং একটি সমপরিমাণ অপকেন্দ্র বলের সৃষ্টি হইবে। তোমার আঙুলে যে টান অনুভব করিবে তাহা এই অপকেন্দ্র বলের জন্য।

বস্তুকণার বেগ যত বেশী হইবে, অপকেন্দ্র বলের পরিমাণ ততই বেশী হইবে, সেইজন্যই মোড় ঘুরিবার সময় মোটর গাড়ী বা রেলগাড়ীর বেগ কমাইয়া লইতে হয়, না হইলে গাড়ী পিছলাইয়া বৃত্তের বাহিরের দিকে চলিয়া যায় ও দুর্ঘটনা ঘটে।

দড়িতে ইঁট বাঁধিয়া যখন ঘুরাইতেছ তখন হঠাৎ দড়ি ছিঁড়িয়া গেলে ইঁটটি কোন্ দিকে যাইবে? উহা কি ঘুরিতে থাকিবে, না বৃত্তের বাহিরের দিকে চলিয়া যাইবে, না বৃত্তের স্পর্শক পথে সোজা ঘুরিবে? দড়ি ছিঁড়িয়া যাওয়া মাত্র অভিকেন্দ্র বল অপসারিত হয়, অতএব বস্তুটির বৃত্তাকারে পরিভ্রমণ বন্ধ হয়। অপকেন্দ্র বল কেবলমাত্র অভিকেন্দ্র বলের প্রতিক্রিয়া হিসাবে কাজ করিতেছিল, সুতরাং অভিকেন্দ্র বল দূরীভূত হইবামাত্র অপকেন্দ্র বলও চলিয়া যায়, অতএব বস্তুটি বৃত্তের কেন্দ্রাতিগ (away from the centre) দিকে চলিতে পারে না। কোন বলই আর বস্তুটির উপর ক্রিয়া করে না। দড়ি ছিঁড়িবার মুহূর্তে বস্তুটি যে বিন্দুতে ছিল, সেই বিন্দুতে তাহার যে বেগ ছিল সেই বেগে সোজা চলিতে থাকে। অর্থাৎ সেই বিন্দুতে বৃত্তের স্পর্শক অভিমুখে বস্তুটি সোজা ছুটিয়া যায়।

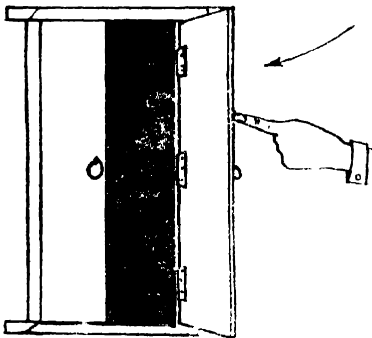
11.11. বলের ভ্রামক (Moment of a force) ঃ কোন বস্তু যদি কোন অক্ষের উপর বা কব্জার উপর আটকানো থাকে তখন বস্তুটির উপর অক্ষ হইতে দূরে বল প্রয়োগ করিলে বস্তুটির চলন না হইয়া ঘূর্ণন হয়।



11·10

ঘরের দরজা দুইটি কব্জায় আটকানো থাকে। আঙুল দিয়া ঠেলিলে দরজা সরল রেখায় চলে না, উহা ঘুরিয়া যায়।

ঘূর্ণনের মাত্রা দুইটি রাশির উপর নির্ভর করে—(1) প্রযুক্ত বলের মান ও (2) ঘূর্ণন অক্ষ হইতে উহার দূরত্ব।



11·11

তুমি যদি কব্জার অতি নিকটে বল প্রয়োগ কর, তবে দরজা খুলিতে বা বন্ধ করিতে অনেক বেশী কষ্ট হয়, অর্থাৎ অনেক বেশী বল প্রয়োগ করিতে হয়।

বলের পরিমাণ যদি P হয়, এবং অক্ষ হইতে প্রয়োগ বিন্দুর দূরত্ব যদি d হয়, তবে ঘূর্ণনের মাত্রা $P \times d$-এর উপর নির্ভর করে।

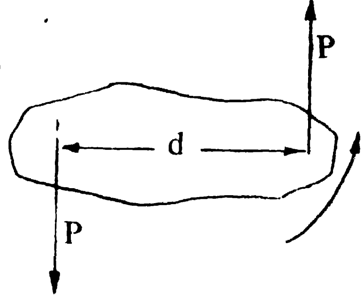
$P \times d$-কে বলের ভ্রামক (moment of the force) বলে। অতএব, বলের ভ্রামক $M = P \times d$।

ভ্রামকের অভিমুখ যদি ঘড়ির কাঁটার ঘূর্ণনের বিপরীত দিকে হয় তবে উহার মান ধনাত্মক বলা হয়। ঘড়ির কাঁটার ঘূর্ণনের দিক ও ভ্রামকের অভিমুখ এক হইলে সেই ভ্রামকের মান ঋণাত্মক।

11·10 নং চিত্রে ভ্রামক ধনাত্মক, 11·11 নং চিত্রে উহা ঋণাত্মক।

11.12. দ্বন্দ্ব (Couple) : দুইটি সমপরিমাণ বল যদি একই বিন্দুতে বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে তবে তাহারা সাম্যে থাকে ও বস্তুটির অবস্থার পরিবর্তন হয় না।

কিন্তু সমপরিমাণ দুটি বিপরীতমুখী বল যদি একই বিন্দুতে ক্রিয়া না করে, তবে ইহারা সাম্যে থাকিবে না, বস্তুটির ঘূর্ণন-গতি সৃষ্টি করিবে। এইরূপ সমপরিমাণ ও বিপরীতমুখী দুইটি বল, যাহাদের প্রয়োগ বিন্দু এক নহে, তাহাদের দ্বন্দ্ব (couple) বলে।



11·12

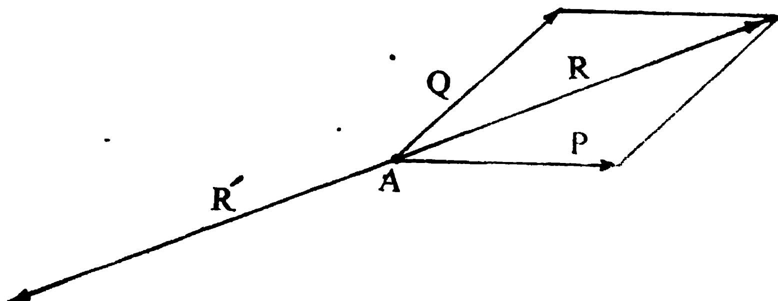
ঘড়িতে দম দিবার সময়ে, মোটর গাড়ীর পরিচালক চক্র (steering wheel) ঘুরাইবার সময়ে দ্বন্দ্ব প্রয়োগ করা হয়। দ্বন্দ্বের প্রয়োগ ফল দ্বন্দ্বের ভ্রামকের (moment) উপর নির্ভর করে।

দ্বন্দ্বের ভ্রামক $M = P \times d$, [d = বল দুইটির মধ্যের অভিলম্ব দূরত্ব]। d-কে দ্বন্দ্বের বাহু (arm) বলে।

11.13. বলের সাম্যাবস্থা (Equilibrium of forces) : বস্তুর উপর বল-প্রয়োগে বস্তুর ত্বরণ হয়, অর্থাৎ অবস্থার পরিবর্তন হয়। কিন্তু একাধিক বল যদি কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করে, তবে বস্তুটির অবস্থার সাম্য নষ্ট নাও হইতে পারে। স্থির বস্তু এই রকম একাধিক বলের প্রয়োগের সাহায্যে স্থির থাকিতে পারে, গতিশীল বস্তুর গতির কোন পরিবর্তন না হইতে পারে।

দুইটি বলের সাম্যাবস্থা খুব সহজেই বোধগম্য হইবে। দুইটি সমান বল যদি কোন বস্তুকণার উপর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে, তবে একটি বলের ক্রিয়া অপর বলের সমান ও বিপরীত হইবে, সুতরাং বস্তুটির অবস্থার পরিবর্তন ঘটিবে না। বস্তুটি যদি স্থির অবস্থায় থাকে, তবে সেই অবস্থায় থাকিবে আর যদি মনে কর v বেগে চলন্ত থাকে, তবে সেই বেগেই চলিতে থাকিবে।

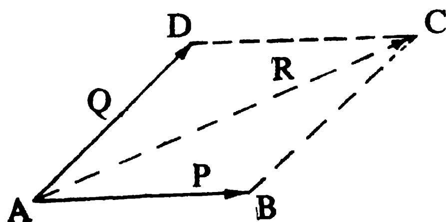
দুইটি হইতে বেশী বল প্রয়োগে সাম্যাবস্থার ক্ষেত্র সামন্তরিকের সূত্র হইতে বুঝিতে পারা যায়।



11·13

11·13 নং চিত্রে P ও Q বলের লব্ধি হইল R। P ও Q বলের প্রয়োগ বিন্দু A-তে একটি বল R´ প্রয়োগ করা হইল যাহা R-এর ঠিক সমান ও বিপরীত। P, Q ও R´ এই তিনটি বল সাম্যাবস্থায় থাকিবে। P ও Q উভয় বলের লব্ধি হইল R। সুতরাং P, Q এই দুইটি বলের পরিবর্তে A বিন্দুতে একটি মাত্র বল R প্রয়োগ করিলেও সমানই ফল পাওয়া যায়। সুতরাং P, Q এবং R´ এই তিনটি বলপ্রয়োগের অর্থ হইল R ও R´ বল প্রয়োগ, অর্থাৎ শূন্য বল প্রয়োগ।

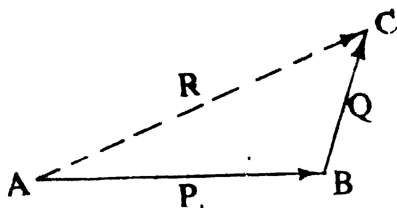
তিনটি বলের সাম্যের শর্তকে অতিশয় সুন্দর ভাবে একটি সূত্রে প্রকাশ করা যায়। AB ও AD বলের লব্ধি AC চিত্র নং 1·14। BC ও AD,



11·14

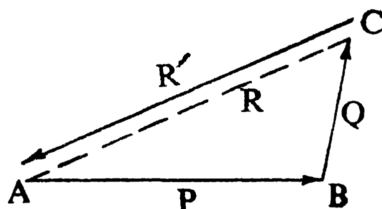
সমান ও সমান্তরাল, সুতরাং আমরা Q বলকে BC দ্বারা প্রকাশ করিতে পারি। তখন সামন্তরিক সূত্রের চিত্র নং 11·15-এর ন্যায় হয়।

একটি বিষয় সম্বন্ধে মনে রাখিবে। AB, BC এবং AC-এর প্রয়োগ বিন্দু একই হইবে।



11·15

এইবার P, Q এর সহিত 'CA' অভিমুখে R প্রয়োগ কর



11·16

(চিত্র নং 11·16) তাহা, R′ P, Q-এর লব্ধি R-এর সমান ও বিপরীত হওয়ায় P, Q ও R′ মিলিয়া সাম্যের সৃষ্টি হইবে।

অর্থাৎ, কোন বিন্দুতে প্রযুক্ত তিনটি বল যদি এমন হয় যে উহাদের একটি ত্রিভুজের পর পর তিন বাহু দ্বারা সূচীত করা চলে, তবে উহাদের লব্ধি শূন্য হইবে, অর্থাৎ উহারা সাম্যে থাকিবে।

এই সূত্রকে **বলের ত্রিভুজ-সূত্র** (**Law of triangle of forces**) বলে। এই সূত্র যে কোন ভেক্টর রাশির বেলায়ই সমভাবে প্রযোজ্য।

প্রশ্নমালা

1. স্কেলার ও ভেক্টর রাশি কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও।

Explain what you mean by scalar and vector quantities.

2. দুইটি ভেক্টর রাশি যোজনের সামন্তরিকের সূত্রটি লিখ।

ভেক্টর রাশি দুইটি পরস্পর সমকোণে থাকিলে লব্ধির মাপ ও অভিমুখ কি হইবে ?

Write down the law of Parallellogram of vectors for composition of two vectors.

What will be the resultant of two vectors acting at right angles to each other ?

3. একটি বস্তুকণা সেকেণ্ডে 3 সেমি করিয়া চলিতেছিল। উহার উপর 3 সেমি./সে. করিয়া সমকোণে আর একটি বেগ আরোপিত হইলে উহার নূতন বেগ কি হইবে ? ($3\sqrt{2}$ সেমি./সে ; যে কোন বেগের সহিত 45° কোণে)।

A particle was moving with a velocity of 3 cm./sec. If another velocity of 3 cm./sec. be impressed on it at right angles to the original one, what will be the resultant velocity ?

4. একটি বস্তুকণার উপর বিভিন্ন দিকে 7, 8 ও 13 ডাইন বল প্রয়োগ করিয়া দেখা গেল বস্তুটি স্থির রহিয়াছে। কম বল দুইটির ভিতরে কত কোণ রহিয়াছে। [60°]

A particle, being acted upon by three forces of 7, 8 and 13 dynes at different angles is at rest. What is the angle between the directions of the smaller forces.

5. একটি বস্তুকণার দুইদিকে সমপরিমাণ বেগ রহিয়াছে। একটি বেগকে অর্ধেক করিলে লব্ধি বেগের সহিত অপর বেগের কোণ অর্ধেক হইয়া যায়। বেগ দুইটির মধ্যের কোণ নির্ণয় কর। [120°]

A particle possesses two equal velocities in two directions. If one of the velocities be halved, the angle between the resultant and the other velocity is halved. Find the angle between the two velocities.

6. অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বল কাহাকে বলে ? কোন্ অবস্থায় কোন বস্তুকণা বৃত্তাকার পথে পরিভ্রমণ করিতে পারে ?

তুমি একটি সূতায় ইঁট বাঁধিয়া সূতার অপর প্রান্ত আঙুলে জড়াইয়া ইঁটটি আঙুলের চারিদিকে ঘুরাইতেছ। সূতাটি যদি হঠাৎ ছিঁড়িয়া যায় ইঁটটি কোন্ দিকে যাইবে ?

What are centripetal and centrifugal forces ? Under what circumstances can a particle rotate in a circle ?

You have tied a piece of brick to one end of a string and are rotating the piece of brick about your finger by holding the free end of the string. If the string suddenly breaks, in what direction will the piece of brick go ?

7. বলের ভ্রামক কাহাকে বলে ? ভ্রামকের পরিমাণ কত ?

ঘরের জানালা খুলিতে গেলে তুমি যদি কব্জার কাছাকাছি জায়গায় ঠেল, তবে জোর বেশী লাগে কেন ?

What is meant by the moment of a force ? How is it quantitatively expressed ?

While opening a window of your room. if you push it near the hinge, you are required to apply a larger force ? Why is it so ?

8. দ্বন্দ্ব কাহাকে বলে ? সংজ্ঞা লিখ :—দ্বন্দ্বের বাহু, দ্বন্দ্বের ভ্রামক।

What do you mean by a couple ? Define : Arm of a couple, Moment of a couple.

9. তিনটি বলের সাম্যের সর্তকে সূত্রাকারে বর্ণনা কর। কিভাবে এই সূত্রকে ব্যাখ্যা করিতে পার ?

Express the condition of equilibrium of three forces in the form of a law. How can you explain it ?

10. কোন বস্তুকণার উপর তিনটি বল প্রয়োগ করিয়া দেখা গেল বস্তুটির অবস্থার কোন পরিবর্তন হইল না। বল তিনটির অনুপাত ($\sqrt{3}+1$) : $\sqrt{6}$: 2 হইলে তাহাদের পরস্পরের ভিতরের কোণ বাহির কর। [135.° 105°. 120°]।

Three forces when impressed on a particle were found to produce no change of state. If the ratio of the forces be ($\sqrt{3}+1$: $\sqrt{6}$: 2), find the angles between them.

দ্বাদশ পরিচ্ছেদ

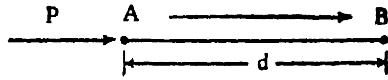
কার্য, ক্ষমতা ও শক্তি

(Work, Power and Energy)

12.1. **কার্য (Work)** ঃ আমরা কাজ করাকে সাধারণতঃ নানা অর্থে ব্যবহার করি। কিন্তু পদার্থ-বিজ্ঞানে কার্য করা এক বিশেষ অর্থে ব্যবহৃত হয়।

কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিয়া যদি বলের প্রয়োগ-বিন্দুকে বলের অভিমুখে কিছুদূরে অপসারিত করা যায়, তবে বলা হয় যে বলটি কার্য করিল।

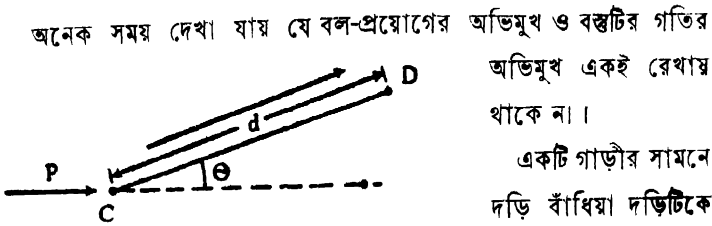
বলের মান যদি P হয় এবং সরণ d হয়, তবে কার্যের পরিমাণ
$W = P.d.$ [চিত্র নং 12.1 (a)]।



12.1 (a)

অনেক সময় এমন হয় যে, যেদিকে বল প্রয়োগ করা হইল তাহার বিপরীত দিকে সরণ হয়। তখন বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হইল বলা হয়। এক্ষেত্রেও কার্যের পরিমাণ
$$W = P.d.$$

অনেক সময় দেখা যায় যে বল-প্রয়োগের অভিমুখ ও বস্তুটির গতির অভিমুখ একই রেখায় থাকে না।



12.1 (b)

একটি গাড়ীর সামনে দড়ি বাঁধিয়া দড়িটিকে যদি সম্পূর্ণ অনুভূমিক অবস্থায় না টানা যায়, তবুও গাড়ীটি চলে। [চিত্র নং 12·1 (b)]।

যদি বল ও সরণের প্রয়োগ-রেখার মধ্যে θ কোণ থাকে, তবে কার্যের পরিমাণ $W = P.d. \cos\theta$।

তোমরা তাহা হইলে বুঝিতে পারিতেছ যে, বল এবং সরণ উভয়ই না থাকিলে কোন কার্য হয় না।

মনে কর তুমি একটি অত্যন্ত ভারী পাথর তুলিবার চেষ্টা করিলে, কিন্তু উহাকে এক তিলও নড়াইতে পারিলে না। তুমি যদি পরিশ্রমে ঘর্মাক্ত কলেবর হইয়াও যাও, তবু তুমি সামান্যমাত্র কার্যও করিলে না, অন্ততঃ বলবিদ্যার ভাষায় নহে।

দৈনন্দিন সংসার-যাত্রায় যে সমস্ত কাজ করা হয়, দৃঢ়ভাবে বিচার করিতে গেলে সেখানেও উপরের সংজ্ঞার মত কার্যই হয়।

রন্ধন করিবার সময় হাতা দিয়া তরকারী নাড়িতে গেলে পাত্রের ঘর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য করিতে হয়, জল তুলিবার সময়ে পৃথিবীর আকর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য হয়; ঘর ঝাড়ু দিবার সময়ে মেঝের ঘর্ষণের বিরুদ্ধে ঝাঁটার সরণ হয়, এবং মেঝে হইতে ঝাড়ু তুলিবার সময়ে মাধ্যাকর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য হয়।

তোমরা যখন চলাফেরা কর, তখন মাটির ঘর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য কর, ভাতের গ্রাস মুখে তুলিবার সময়ে মাধ্যাকর্ষণের বিরুদ্ধে কার্য কর, চিবাইবার সময়ে খাদ্যের রোধের বিরুদ্ধে কার্য কর।

12.2. **কার্যের একক (Units of Work)** ঃ C. G. S. পদ্ধতিতে কার্যের একক 1 **আর্গ** (erg)। 1 ডাইন বল-প্রয়োগে প্রয়োগ-বিন্দুর যদি 1 সেমি. সরণ হয় তবে 1 **আর্গ** কার্য হইল বলা হয়।

একটি বিশেষ দ্রষ্টব্য বিষয় এই যে, এই সরণ কতক্ষণে হইল তাহার উপর কার্যের পরিমাণ নির্ভর করে না। 1 সেমি. সরণ এক মুহূর্তেই হউক বা এক ঘণ্টায়ই হউক, মোট কার্য সমানই থাকে, কেবল কার্য করিবার হার কম-বেশী হয়।

(সমপরিমাণ বল-প্রয়োগ করিলেও যদি যে বস্তুর উপর বল প্রযুক্ত হইল তাহার ভর বেশী হয় তবে ত্বরণ কম হইবার জন্য সরণে সময় বেশী লাগিতে পারে)।

F.P.S. পদ্ধতিতে কার্যের একক **1 ফুট-পাউণ্ডাল (Foot-Poundal)**। নাম হইতেই বুঝিতে পারিতেছ, 1 পাউণ্ডাল বল প্রয়োগে 1 ফুট সরণ হইলে **1 ফুট-পাউণ্ডাল কার্য হয়**। এই এককের নাম মনে রাখা সহজসাধ্য, কারণ সংজ্ঞা অনুসারে—

$$\text{বল} \times \text{দূরত্ব} = \text{কার্য};$$

অতএব, এককগুলি বসাইলে,

পাউণ্ডাল × ফুট = ফুট-পাউণ্ডাল।

C. G. S. পদ্ধতির বেলায় অবশ্য

ডাইন × সেমি. = আর্গ।

1 ডাইন বল ও 1 সেমি. দূরত্ব পরিমাণে এত অল্প যে 1 আর্গ কার্যের মান অতিশয় সামান্য। তোমার হাতটি মাথার উপর তুলিতেই তোমাকে কয়েক লক্ষ আর্গ কার্য করিতে হয়।

সে জন্য C. G. S. পদ্ধতিতে কার্যের একটি ব্যবহারিক একক প্রচলিত আছে। ইহার নাম **জুল** (Joule)। প্রখ্যাত ইংরাজ বিজ্ঞানী জুলের নামানুসারে এই এককের নামকরণ হইয়াছে।

$$1 \text{ জুল} = 10^7 \text{ আর্গ।}$$

12.3. কার্যের মহাকর্ষীয় একক (Gravitational Units of Work) : প্রাত্যহিক জীবনে যত কার্য করা হয়, তাহার মধ্যে অধিকাংশই হয় মাধ্যাকর্ষণের বিরুদ্ধে। মাধ্যাকর্ষণের বলকে সাধারণতঃ মহাকর্ষীয় এককে প্রকাশ করা হয়। 1 পাউণ্ড ভরের উপর মাধ্যাকর্ষণের যে বল উহার পরিমাণ g পাউণ্ডাল হইলেও সাধারণতঃ উহাকে 1 পাউণ্ড-ওজন বলা হয় (g = প্রায় 32 ফুট/ব.সে.)। সুতরাং যে সমস্ত ক্ষেত্রে বল পাউণ্ড-ওজনে মাপা হয়, সেখানে কার্যের F. P. S. পদ্ধতির মহাকর্ষীয় একক ব্যবহৃত হয়। ইহার নাম **ফুট-পাউণ্ড** (**Foot-pound**)। 1 পাউণ্ড-ওজন বল প্রয়োগে 1 ফুট সরণ হইলে বলা হয়, 1 ফুট-পাউণ্ড কার্য হইল।

$$\therefore \quad 1 \text{ ফুট-পাউণ্ড} = 1 \text{ পাউণ্ড-ওজন} \times 1 \text{ ফুট।}$$

C. G. S. পদ্ধতিতে কার্যের মহাকর্ষীয় এককের নাম 1 **গ্রাম-সেমি.** (**gm-cm**)। 1 গ্রাম-ওজন বল প্রয়োগে 1 সেমি. সরণ হইলে 1 গ্রাম-সেমি. কার্য করা হয়।

$$\therefore \quad 1 \text{ গ্রাম-সেমি.} = 1 \text{ গ্রাম-ওজন} \times 1 \text{ সেমি.।}$$

12.4. কার্যের মহাকর্ষীয় ও পরম এককের সম্বন্ধ (Relations between Gravitational and Absolute units of Work) :

F. P. S. পদ্ধতি :

$$1 \text{ পাউণ্ড-ওজন} = \text{প্রায় } 32 \text{ পাউণ্ডাল।}$$

∴ 1 ফুট-পাউণ্ড কার্য = 1 পাউণ্ড-ওজন × 1 ফুট।

= 32 পাউণ্ডাল × 1 ফুট

= 32 ফুট-পাউণ্ডাল।

C. G. S. পদ্ধতি :

1 গ্রাম-ওজন = 980 ডাইন (প্রায়)।

∴ 1 গ্রাম-সেমি. কার্য = 1 গ্রাম ওজন × 1 সেমি.

= 980 ডাইন × 1 সেমি.

= 980 আর্গ।

1 পাউণ্ড-ওজনকে মাটি হইতে 1 ফুট উপরে তুলিতে 1 **ফুট-পাউণ্ড** বা 32 ফুট পাউণ্ডাল কার্য করা হয়।

12.5. অনুশীলন :

(a) কোন বস্তুকণার উপরে 10 পাউণ্ডাল বল প্রয়োগ করিয়া 3 ফুট সরণ হইল। কত কার্য হইল ও কে কার্য করিল ?

কার্যের পরিমাণ W = বল × সরণ

= 10 × 3 ফুট-পাউণ্ডাল = 30 ফুট-পাউণ্ডাল।

বল কার্য করিল।

(b) 5 গ্রাম ভরের একটি বস্তুকণা সেকেণ্ডে 30 সেমি. বেগে চলিতেছিল। 25 ডাইন বল প্রয়োগ করিয়া বস্তুটিকে থামানো হইল। বস্তুটির থামিতে কতক্ষণ লাগিল ? মোট কত কার্য হইল ও কে কার্য করিল ?

প্রযুক্ত বল = 25 ডাইন। বস্তুটির বল = 5 গ্রাম।

$$\therefore \quad \text{বস্তুটির মন্দন} = \frac{\text{বল}}{\text{ভর}} = \frac{25}{5} = 5 \text{ সেমি. ব. সে.।}$$

বস্তুটির প্রারম্ভিক বেগ u = 30 সেমি./সে.,

অন্তিম বেগ v = 0, মন্দন f = 5 সেমি./ব. সে. ;

∴ গতির সংকেত অনুসারে,

$$v = u + ft \quad [\, t = \text{অবকাশ} \,]$$

$$\therefore \quad 0 = 30 - 5 \times t$$

$$\therefore \quad t = 6 \text{ সেকেণ্ড।}$$

কার্যের পরিমাণ বাহির করিতে হইলে বল ও সরণ জানা প্রয়োজন। বল দেওয়া রহিয়াছে, সরণ বাহির করিতে হইবে।

মোট সরণ $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$

$$=30\times6-\frac{1}{2}\times5\times6^2=90 \text{ সেমি.}।$$

$\therefore$ কার্য $W=$ বল $\times$ সরণ $=25\times90=2250$ আর্গ।

এখানে বস্তুটি বলের বিরুদ্ধে কার্য করিল।

(c) ভূপৃষ্ঠে অবস্থিত 20 পাউণ্ড একটি ভরের উপর ঊর্ধ্বমুখে 800 পাউণ্ডালের একটি ধ্রুব বল ক্রিয়া করিতেছে। বস্তুটি 200 ফুট ঊর্ধ্বে উঠিলে বল যে পরিমাণ কার্য করিয়াছে নির্ণয় কর। বস্তুটি ও মাধ্যাকর্ষণের বিরুদ্ধে যে কার্য করিয়াছে তাহা বাহির কর। এই উচ্চতায় বস্তুটির বেগ কত হইবে? ($g=32$ ফুট/ ব. সে.)।

বলের দ্বারা কৃত কার্য $=$ বল $\times$ সরণ $=800\times200$ ফুট-পাউণ্ডাল

$=160,000$ ফুট-পাউণ্ডাল।

বস্তুটি পৃথিবীর মাধ্যাকর্ষণের বিরুদ্ধে যে কার্য করিয়াছে তাহার পরিমাণ

$=$ বস্তুটির ওজন $\times$ সরণ $=20\times32\times200$ ফুট-পাউণ্ডাল

$=128,000$ ফুট-পাউণ্ডাল।

সুতরাং বস্তুটির উপর $(160,000-128,000)=32000$ ফুট-পাউণ্ডাল বেশী কার্য করা হইয়াছে।

বস্তুটির উপর লব্ধি বল $=$ প্রযুক্ত বল $-$ বস্তুটির ওজন

$=800$ পাউণ্ডাল -20×32 পাউণ্ডাল

$=800$ পাউণ্ডাল -640 পাউণ্ডাল $=160$ পাউণ্ডাল।

এখন $P=mf$ সংকেত অনুসারে,

$$160=20\times f,$$

$\therefore$ বস্তুটির ঊর্ধ্বমুখী ত্বরণ $=\frac{160}{20}=8$ ফুট/ব. সে.।

আবার, $v^2=u^2+2fs$ সংকেত অনুসারে,

$$v^2=0+2\times8\times200$$

$$\therefore\ v=56\cdot56 \text{ ফু/সে.}।$$

(d) স্থির অবস্থা হইতে পতনশীল $\frac{1}{2}$ পাউণ্ড ভরের একটি বস্তুর পতনের দশম সেকেণ্ডে মাধ্যাকর্ষণ উহার উপর কত কার্য করে?

কার্য=বল × সরণ।

প্রশ্নানুসারে বল = $\frac{1}{2}$ পাউণ্ড-ওজন।

দশম সেকেণ্ডের সরণ = 10 সেকেণ্ডের সরণ — 9 সেকেণ্ডের সরণ

$=\frac{1}{2}g\times10^2-\frac{1}{2}g\times9^2$

$=\frac{1}{2}g\times19$ ফুট

$=304$ ফুট [g.=32 ফু/ব. সে. ধরিয়া]

∴ কার্য = $\frac{1}{2}$ পাউণ্ড-ওজন × 304 ফুট = 152 ফুট-পাউণ্ড।

(c) একটি 10 টনের গাড়ীকে একটি ঘোড়া টানিতেছে। ঘোড়ার টানের বল = 120 পাউণ্ড-ওজন, এবং ঘর্ষণ বলের পরিমাণ = প্রতি টন ভরে 9 পাউণ্ড-ওজন; 1 মিনিটে গাড়ীটি কতদূর যাইবে এবং কতটা কার্য হইবে?

ঘর্ষণ-জনিত মোট বল = 9 × 10 = 90 পাউণ্ড-ওজন।

∴ লব্ধি বল = 120 পাউণ্ড-ওজন — 90 পাউণ্ড-ওজন = 30 পাউণ্ড-ওজন।

∴ কার্য = বল × সরণ। সরণ বাহির করিতে হইবে।

বল = 30 পাউণ্ড-ওজন = 30 × 32 পাউণ্ডাল।

গাড়ীর ভর = 10 × 2240 পাউণ্ড।

∴ ত্বরণ $f=\frac{30\times32}{10\times2240}$ ফু./ব.সে. $=\frac{3}{70}$ ফু./ব.সে.।

∴ সরণ = $\frac{1}{2}ft^2=\frac{1}{2}\times\frac{3}{70}\times60\times60=77\frac{1}{7}$ ফুট।

কার্য = 30 × 32 পাউণ্ডাল × $77\frac{1}{7}$ ফুট = $74057\frac{1}{7}$ ফুট-পাউণ্ডাল

= 30 × $77\frac{1}{7}$ ফুট-পাউণ্ড = $2314\frac{2}{7}$ ফুট-পাউণ্ড।

প্রকৃতপক্ষে কার্য = 120 × $77\frac{1}{7}$ ফুট-পাউণ্ড, তবে ইহার অধিকাংশ ঘর্ষণের বিরুদ্ধে ব্যয়িত হইবে।

12.6. কার্যের বিভিন্ন পদ্ধতির এককের সম্পর্ক :

1 ফুট-পাউণ্ডাল ও 1 আর্গের সম্পর্ক :

1 আর্গ = 1 ডাইন × 1 সেমি.

1 ফুট-পাউণ্ডাল = 1 পাউণ্ডাল × 1 ফুট ;

= 13825 ডাইন × 30·48 সেমি. [1 পাউণ্ডাল = 13825 ডাইন,

= $4{\cdot}214\times10^5$ আর্গ 1 ফুট = 30·48 সেমি.।]

1 ফুট-পাউণ্ড ও 1 জুলের সম্পর্ক ঃ

1 ফুট-পাউণ্ড = g ফুট-পাউণ্ডাল = 32 ফুট-পাউণ্ডাল

$= 32 \times 4{\cdot}214 \times 10^5$ আর্গ

$= \frac{32 \times 4{\cdot}214 \times 10^5}{10^7}$ জুল = 1·348 জুল।

g = 32·2 ফুট/ব.সে. ধরিলে 1 ফুট-পাউণ্ড = 1·356 জুল।

12.7. **ক্ষমতা (Power) :** কোন কার্য-কারকের (agent) কার্য করিবার হারকে উহার ক্ষমতা বলা হয়। অর্থাৎ ঐ কার্য-কারক প্রতি সেকেণ্ডে যে কার্য করিতে পারে তাহাকে উহার ক্ষমতা বলে। অতএব ক্ষমতা = কার্য/সময়।

স্বভাবতঃই, কোন কার্য শেষ হইতে যদি সময় বেশী লাগে, তবে কার্য-কারকের ক্ষমতা কম বুঝিতে হয়।

একটি মোটামুটি উদাহরণ দিয়া ব্যাপারটা বুঝানো যাইতে পারে। মনে কর, একটি পুকুর সেঁচিয়া ফেলিতে হইবে। একজন লোক দিবারাত্র অবিরাম কাজ করিয়া তুই দিনে পুকুরটি সেঁচিয়া ফেলিতে পারে, আর একটি মোটর চালিত পাম্প ঐ কার্য আট ঘণ্টায় সমাধা করিতে পারে। এখানে লোকটি ও পাম্প, উভয়েই সম-পরিমাণ কার্য করিবে, কিন্তু পাম্পটি সেই কার্য কম সময়ে করিবে বলিয়া উহার কার্য করিবার হার বেশী হইবে অর্থাৎ ক্ষমতা বেশী হইবে।

ক্ষমতার একক : সাধারণ ভাবে, 1 সেকেণ্ড সময়ে 1 একক কার্য করিলে কার্য-কারকের একক ক্ষমতা আছে বুঝিতে হইবে।

C. G. S. পদ্ধতিতে যে কার্য-কারক 1 সেকেণ্ডে 1 আর্গ কার্য করিতে পারে তাহার ক্ষমতাই 1 একক ক্ষমতা।

কিন্তু এই ক্ষমতা পরিমাণে এত অল্প যে ইহাকে ব্যবহার করা যায় না। 1 সেকেণ্ডে 1 জুল (কার্যের ব্যবহারিক একক) কার্যের হারকে ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ক্ষমতার একক হিসাবে প্রয়োগ করা হয়। ইহার নাম 1 **ওয়াট** (**Watt**)। বিজ্ঞানী জেম্‌স্ ওয়াটের নামে ইহার নামকরণ হইয়াছে।

অতএব 1 ওয়াট ক্ষমতা = সেকেণ্ডে 1 জুল কার্য = সেকেণ্ডে 10^7 আর্গ কার্য।

ওয়াট এককের নাম তোমাদের কাছে অপরিচিত নহে। বৈদ্যুতিক বাতির প্রসংগে 30 ওয়াট, 60 ওয়াট বাতির নাম তোমরা শুনিয়াছ।

C. G. S. পদ্ধতিতে ক্ষমতার আরও বৃহত্তর একক অনেক সময়ে প্রয়োজন হয়। এই এককের নাম **কিলোওয়াট** (Kilo-Watt)।

1 কিলো-ওয়াট = 1000 ওয়াট

= সেকেণ্ডে 1000 জুল কার্যের হার।

F. P. S. পদ্ধতি :

1 সেকেণ্ডে 1 ফুট-পাউণ্ড কার্যের হার F. P. S. পদ্ধতির ক্ষমতার একক। ব্যবহারিক ক্ষেত্রে কিন্তু এই পদ্ধতিতে ক্ষমতার অন্য একক ব্যবহার করা হয়। এই এককের নাম **অশ্ব-ক্ষমতা** (Horse-power)।

1 সে. 550 ফুট-পাউণ্ড কার্যের হারকে 1 অশ্ব-ক্ষমতা বা H.P. বলা হয় :

অতএব 1 অশ্ব-ক্ষমতা = সেকেণ্ডে 550 ফুট-পাউণ্ড কার্যের হার।

= (সেকেণ্ডে $550 \times 32 = 17600$ ফুট-পাউণ্ডাল)

= মিনিটে $550 \times 60 = 33000$ ফুট-পাউণ্ড কার্যের হার।

উভয় পদ্ধতির এককের সম্পর্ক ঃ

1 অশ্ব-ক্ষমতা = সেকেণ্ডে 550 ফুট-পাউণ্ড কার্য

= সেকেণ্ডে $550 \times 1{\cdot}356$ জুল কার্য

(ফুট-পাউণ্ডের শুদ্ধতর মান ধরিয়া)

= সেকেণ্ডে 746 জুল কার্য (প্রায়) ;

= 746 ওয়াট = 0·746 কিলোওয়াট।

$\therefore$ 1 কিলোওয়াট = $\frac{1}{0{\cdot}746}$ অশ্ব-ক্ষমতা = প্রায় 1·34 অশ্ব-ক্ষমতা।

প্রকৃত পক্ষে সাধারণ একটি অশ্বের ক্ষমতা মাত্র 0·75—0·80 অশ্ব-ক্ষমতা হয়।

মানুষের ক্ষমতা প্রায় 0·15 অশ্ব-ক্ষমতা। মোটর গাড়ীর ইঞ্জিনের ক্ষমতা প্রায় 6—20 অশ্ব-ক্ষমতা। শক্তিশালী রেল-ইঞ্জিনের ক্ষমতা 3000 অশ্ব-ক্ষমতা বা ততোধিক হয়।

12.8. **শক্তি** (**Energy**) ঃ কোন বস্তু মোট যে পরিমাণ কার্য করিতে পারে তাহাকে উহার শক্তি বলে।

শক্তির একক ঃ শক্তি যেহেতু মোট কার্যের পরিমাণ, অতএব শক্তিকে কার্যের এককে প্রকাশ করা হয়।

শক্তি বিভিন্ন ধরণের হইতে পারে। কোন বস্তু স্বীয় অবস্থার জন্য কতটা যান্ত্রিক কার্য (অর্থাৎ কোন বলের বিরুদ্ধে কার্য) করিতে পারে তাহাই উহার যান্ত্রিক শক্তির (Mechanical Energy) পরিমাপ।

একটি হাতুড়ি উপর হইতে পড়িয়া একটি পেরেককে কাঠের উপর বসাইয়া দিতে পারে ; একটি গুল্‌তির রবারের ফিতা নিজের টানের জন্য বহুদূরে গুলি নিক্ষেপ করিতে পারে ; একটি ঘড়ির স্প্রিং নিজের পাকের জন্য চব্বিশ ঘণ্টা বা আরও বেশী সময়ের জন্য ঘড়িটিকে চালাইতে পারে। এই সমস্তই যান্ত্রিক শক্তির উদাহরণ। হাতুড়িটি তাহার গতির জন্য, গুলতির ফিতা বা- ঘড়ির স্প্রিং তাহাব দৈর্ঘ্যের পরিবর্তনের জন্য, কার্য করে। জল বিদ্যুতের কারখানায় জল তাহার উচ্চ অবস্থান-জাত শক্তির জন্য, কিংবা এয়ার-গান (air gun) ভিতরে উচ্চ চাপের বাতাসের জন্য কার্য করে। এই সমস্ত ক্ষেত্রেই শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তি বলে।

যান্ত্রিক শক্তিকে দুই ভাগে ভাগ করা যায়, গতিশক্তি (**Kinetic Energy**) ও স্থিতিশক্তি (**Potential Energy**)।

12.9. গতিশক্তি : কোন বস্তু যেখানে নিজের গতির জন্য কার্য করে সেখানে আমরা বলি উহার গতিশক্তি আছে। বস্তুটির গতি শূন্য হইবার পূর্ব পর্যন্ত উহা মোট যে কার্য করিতে পারে তাহাই উহার গতি-শক্তির পরিমাপ।

বস্তুটিকে থামাইতে গেলে অবশ্যই উহার বিরুদ্ধে একটি বল প্রয়োগ করিতে হইবে। ফলে বস্তুটি মন্দন প্রাপ্ত হইয়া ক্রমে থামিয়া যাইবে। থামিয়া যাইবার পূর্বে উহা যতক্ষণ চলিতে পারিবে ততক্ষণ উহাকে প্রযুক্ত বলের বিরুদ্ধে চলিতে হইবে ও কার্য করিতে হইবে। এই কার্যই উহার গতিশক্তি।

মনে কর, কোন বস্তুর ভর m এবং বেগ v ; উহার গতিশক্তি বাহির করিতে হইবে।

বস্তুটির গতিশক্তি বাহির করিতে হইলে উহা থামিবার পূর্বে কতটা কার্য করিতে পারে দেখিতে হইবে। থামাইতে গেলে বস্তুটির মন্দন সৃষ্টি করিতে হইবে ও সেইজন্য একটি বিরুদ্ধ বল প্রয়োগ করিতে হইবে।

মনে কর, **যে কোন বল** P বস্তুটির গতির বিরুদ্ধে প্রযুক্ত হইল এবং বস্তুটি না থামা পর্যন্ত এই বল ক্রিয়া করিতে থাকিল।

$$\text{বস্তুটির মন্দন } f=\frac{P}{m} \qquad [\because \ P=mf]।$$

মোট কার্যের পরিমাণ জানিতে হইলে বস্তুটির সরণ s বাহির করিতে হইবে। কার্য W = বল × সরণ = P. s।

এখন, বস্তুটির প্রারম্ভিক বেগ $=v$, অন্তিম বেগ $=0$;

গতির সংকেত অনুসারে,

$$0=v^2-2fs$$

$$\therefore \quad s=\frac{v^2}{2f}.$$

$$W=P.s=mf.s=mf\frac{v^2}{2f}=\frac{mv^2}{2}\text{ ।}$$

লক্ষ্য করিয়া দেখ, বস্তুটির গতিশক্তি $\frac{1}{2}mv^2$ রাশিটির মধ্যে বল বা ত্বরণের প্রয়োগ নাই। যে কোন বলের বিরুদ্ধেই বস্তুটি কার্য করুক না কেন, এবং থামিবার পূর্বে উহা যতদূরেই যাক্ না কেন, উহার গতিশক্তির পরিমাণ একই রহিবে।

12.10. **স্থিতিশক্তি (Potential Energy) :** কোন বস্তু নিজের অবস্থান (position) বা আকৃতির (configuration) জন্য যতটা কার্য করিতে পারে তাহাই উহার স্থিতিশক্তির পরিমাণ, অর্থাৎ বস্তুটির স্বাভাবিক অবস্থান বা আকৃতির পরিবর্তন করিলে উহা পুনরায় স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসিবার পূর্বে যে কার্য করিতে পারে তাহাই উহার স্থিতিশক্তি।

একটি পাথরকে ভূ-পৃষ্ঠ হইতে উপরে উঠাইয়া ছাড়িয়া দিলে উহা নীচে পড়িয়া কোন জিনিসকে গুঁড়া করিয়া দিতে পারে। ইহা অবস্থান-জনিত স্থিতিশক্তির উদাহরণ। ঘড়ির স্প্রিং-এ দম দিয়া ঘড়িকে অনেকক্ষণ চালানো যায়, কারণ দম দিয়া ঘড়ির স্প্রিং-কে টান করা হয়। উপর হইতে একটি বল মাটিতে ফেলিলে মাধ্যাকর্ষণের বিরুদ্ধে উহা লাফাইয়া উঠে কারণ উহার ভিতরের বাতাস পতনের বেগে সংকুচিত হয়। এগুলি আকার-জনিত স্থিতিশক্তির উদাহরণ।

আমরা অবস্থান-জনিত স্থিতিশক্তির আলোচনাই বিশদভাবে করিব।

মনে কর m ভরের কোন বস্তুকে ভূ-পৃষ্ঠ হইতে h ঊর্ধ্বে উঠাইয়া স্থির অবস্থায় রাখা হইল।

বস্তুটির উপরে মাধ্যাকর্ষণ-জনিত বল $=mg$ ।

বস্তুটিকে উপরে উঠাইতে হইলে এই বলের বিরুদ্ধে কাজ করিতে হইবে।

সুতরাং মোট কার্য $E=$ বল $\times$ সরণ $=mg\times h=mgh$ ।

এই কার্য বস্তুটীর ভিতরে স্থিতিশক্তি হিসাবে সঞ্চিত থাকিবে এবং সুযোগ পাইলে বস্তুটি এই পরিমাণ কার্য করিবে।

উপর হইতে কোন বস্তু পড়িতে থাকিলে চলমান অবস্থায় উহার গতি ও (স্থিতি-শক্তি) দুইই থাকে।

12.11. বল প্রয়োগে চলন্ত বস্তুর গতিশক্তির পরিবর্তন ঃ

কোন চলমান বস্তুর ি ছুটা গতিশক্তি থাকে। বস্তুটির ভর m ও বেগ u হইলে উহার গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mu^2$। এখন যদি বস্তুটির উপরে কোন বল ক্রিয়া করে তবে উহার বেগ পরিবর্তিত হয়, ফলে উহার গতিশক্তিরও পরিবর্তন হয়।

মনে কর বস্তুটির উপর P বল t সময় ধরিয়া ক্রিয়া করিয়া বলের ক্রিয়ায় বস্তুটির ত্বরণ হইল f।

$$\therefore \quad P = mf,$$

অথবা $f = \frac{P}{m}$;

$\therefore$ t সেকেণ্ড পরে বস্তুটির বেগ v হইলে,

$$v = u + ft = u + \frac{P}{m} . t \text{ ।}$$

এই সময়ে বস্তুটি যে দূরত্ব s অতিক্রম করিল তাহা নীচের সংকেত হইতে পাওয়া যায়।

$$v^2 = u^2 + 2fs$$
$$= u^2 + \frac{2 P.s}{m}$$

উভয় দিককে $\frac{1}{2}$m দিয়া গুণ করিলে,

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mu^2 + \frac{1}{2}m.\frac{2P.s}{m}$$
$$= \frac{1}{2}mu^2 + P.s \text{ ।}$$

$\frac{1}{2}mv^2$ = অন্তিম গতিশক্তি, $\frac{1}{2}mu^2$ = প্রারম্ভিক গতিশক্তি, P.s = বলের কার্য।

$\therefore$ অন্তিম গতিশক্তি = প্রারম্ভিক গতিশক্তি + বল কর্তৃক কৃত কার্য।

$\therefore$ গতিশক্তির পরিবর্তন = কৃত কার্যের পরিমাণ।

বলের প্রয়োগ-রেখা গতির অভিমুখে হইলে অন্তিম গতিশক্তি বেশী হইবে ; এক্ষেত্রে বল কার্য করিবে। বলের প্রয়োগ-রেখা গতির বিপরীত

হইলে অন্তিম গতিশক্তি কম হইবে এবং শক্তির হ্রাসটুকু বলের বিরুদ্ধে কার্য করিতে ব্যবহৃত হইবে।

12.12. **শক্তির বিভিন্ন রূপ:** আমরা এ পর্যন্ত শুধুমাত্র যান্ত্রিক শক্তির কথাই আলোচনা করিয়াছি। শক্তি কিন্তু আরও বিভিন্নরূপে প্রকাশিত হইতে পারে। ইহাদের মধ্যে কতকগুলিকে আমরা সহজেই বুঝিতে পারি, কতকগুলি ক্ষেত্রে শক্তির অস্তিত্ব অত সহজে বুঝিতে পারা যায় না।

তাপশক্তি (Heat Energy): রেলগাড়ীর এঞ্জিনে শক্তি তাপশক্তি হিসাবে সঞ্চিত থাকে। এই শক্তিই গাড়ীকে চালায়।

রাসায়নিক শক্তি (Chemical Energy): বন্দুকের গুলি ছুঁড়িবার জন্য যে বারুদ ব্যবহার করা হয় তাহার রাসায়নিক শক্তিই গুলিকে গতি দেয়।

বিদ্যুৎ-শক্তি (Electrical Energy): তার বাহিত বিদ্যুৎ-শক্তিই পাখাকে ঘুরায়।

আলোক-শক্তি (Light Energy): ফোটো তুলিবার কার্যে ব্যবহৃত আলোক পরিমাপক যন্ত্রে (Light-intensity Meter) বিশেষ ধরণের তড়িৎ-কোষ (Selenium Cell) থাকে, উহাতে আলোক-শক্তি সংগ্রহ হইয়া তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয় ও যন্ত্রের কাঁটা নড়ে।

এইরূপ, **শব্দশক্তি, চৌম্বক শক্তি** প্রভৃতি রূপেও শক্তির অস্তিত্ব সম্ভব।

12.13. **শক্তির নিত্যতা (Conservation of Energy):** পদার্থ-বিজ্ঞানের যে কয়েকটি তথ্যকে বা সত্যকে পরম সত্য বলিয়া ধরিয়া লওয়া হইয়াছে, তাহাদের মধ্যে শক্তির নিত্যতার নীতি অন্যতম। এই নীতি অনুসারে—কোন বস্তু বা বস্তু-সমষ্টির (system) শক্তি ধ্রুব থাকে।

শক্তির ক্ষয় নাই: যখনই কোন প্রকারের শক্তি অন্তর্হিত হয়, তখনই বুঝিতে হইবে সমপরিমাণ শক্তি অন্য কোন রূপ লইয়াছে।

শক্তির নিত্যতার নীতির পরিমাণাত্মক (quantitative) প্রমাণ অনেক ক্ষেত্রেই শক্ত, তবে শক্তির রূপান্তরের দ্বারা ইহার সত্যতাকে পরীক্ষা করা যায়।

শক্তির রূপান্তর (Transformation of Energy) :

যান্ত্রিক শক্তি হইতে তাপ-শক্তি : আমরা যদি দুই হাতের তালু ঘষি, প্রতিবারের ঘর্ষণে কিছুটা করিয়া যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় হয়। এই শক্তি রূপান্তর লাভ করিয়া তাপশক্তিতে পরিণত হয়। হাতুড়ি দ্বারা পেরেক- ঠুকিলে পেরেকটি গরম হইয়া উঠে ; রেল লাইনের উপর দিয়া গাড়ী গেলে লাইন উত্তপ্ত হয়।

যান্ত্রিক শক্তি হইতে বিদ্যুৎ-শক্তি : জল-বিদ্যুৎ কারখানায় উচ্চ জলাধারে রক্ষিত জলের স্থিতিশক্তি প্রথমে গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয়, তাহার পর সেই গতিশক্তি টারবাইনে সঞ্চারিত হইয়া বিদ্যুৎ-শক্তির জন্ম দেয়।

যান্ত্রিক শক্তি হইতে আলোক-শক্তি : উল্‌কা-পাতের সময়ে তীব্রগতি-সম্পন্ন উল্‌কা-পিণ্ড বায়ুর বাধায় উত্তপ্ত হইয়া অবশেষে আলোক বিকীরণ করে। চকমকি পাথর ঘষিলে আলোক নির্গত হয়।

তাপ-শক্তি হইতে যান্ত্রিক শক্তি : ষ্টিম এঞ্জিনে বাষ্পবাহিত তাপ-শক্তি গতিশক্তিতে পরিণত হয়।

তাপ-শক্তি হইতে বিদ্যুৎ-শক্তি : তাপ-বিদ্যুৎ উৎপাদন কারখানায় (যেমন, বোকারো) তাপশক্তির সাহায্যে জেনারেটর ঘুরাইয়া বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয়।

তাপ-শক্তি হইতে আলোক-শক্তি : প্রদীপ, মোমবাতি, লণ্ঠন।

বিদ্যুৎ-শক্তি হইতে গতিশক্তি : বৈদ্যুতিক পাখা, মোটর।

বিদ্যুৎ-শক্তি হইতে তাপশক্তি : ইলেকট্রিক ইস্ত্রী, বৈদ্যুতিক-চুল্লী।

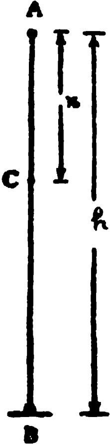
বিদ্যুৎ-শক্তি হইতে আলোক-শক্তি : বৈদ্যুতিক বাতি (এখানে বিদ্যুৎ-শক্তি প্রথমে তাপে রূপান্তর গ্রহণ করে, পরে বাতির তার উত্তপ্ত হইয়া আলোক দিতে থাকে)।

12.14. শক্তির নিত্যতার প্রমাণ : পতনশীল বস্তুর যান্ত্রিক শক্তি (Proof of the principle of conservation of energy : Mechanical energy of a falling body) :

অনেক ক্ষেত্রে শক্তির নিত্যতার নীতি প্রমাণ করা কঠিন হইলেও একটি ক্ষেত্রে ইহার পরীক্ষা সম্ভব।

স্থির অবস্থা হইতে কোন বস্তু যখন নীচে পড়ে, তখন গতি-পথের সর্বত্র বস্তুটির মোট যান্ত্রিক শক্তি সমান থাকে।

মনে কর কোন বস্তুকণা ভূপৃষ্ঠ হইতে h উচ্চতায় A অবস্থানে ছিল। সে স্থান হইতে উহা মাধ্যাকর্ষণের ফলে পড়িতে থাকিল।



12·2

বস্তুটির ভর ধরা যাক্ $=m$।

বস্তুটি যখন A অবস্থানে স্থির অবস্থায় ছিল তখন উহার যান্ত্রিক শক্তি সমস্তটাই স্থিতিশক্তি হিসাবে ছিল এবং এই শক্তির পরিমাণ ছিল $E=mgh$।

পতনের পথে বস্তুটি যখন A হইতে x দূরত্ব নীচে C বিন্দু দিয়া যাইতেছিল, তখন ভূপৃষ্ঠ হইতে ঊর্ধ্বে থাকিবার জন্য উহার কিছু স্থিতিশক্তি ছিল, আবার মাধ্যাকর্ষণ জনিত ত্বরণের জন্য কিছুটা নিম্নমুখী বেগ হওয়ায় খানিকটা গতিশক্তিও ছিল।

ভূপৃষ্ঠ হইতে C বিন্দুর উচ্চতা $=(h-x)$;

$\therefore$ C বিন্দুতে বস্তুটির স্থিতিশক্তি $=mg(h-x)$।

মনে কর C বিন্দুতে পদার্থটির বেগ $=v_1$.

$\therefore$ বস্তুটির গতি-শক্তি $=\frac{1}{2}mv_1^2$।

এখন A অবস্থানে বস্তুটির প্রারম্ভিক গতি $=0$

C অবস্থানে বস্তুটির অন্তিম গতি $=v_1$,

$\therefore\ v_1^2=0+2gx$

$\therefore$ C অবস্থানে বস্তুটির গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}m\times 2gx=mgx$।

$\therefore$ C অবস্থানে বস্তুটির মোট যান্ত্রিক শক্তি $=$ স্থিতিশক্তি $+$ গতিশক্তি

$$=mg(h-x)+mgx=mgh$$ ।

C অবস্থানে বস্তুটির মোট যান্ত্রিক শক্তি mgh C-এর উচ্চতার উপর নির্ভরশীল নহে, অর্থাৎ x-এর মান যাহাই হউক না কেন, ইহা mgh হইবে।

অতএব A হইতে ভূপৃষ্ঠ পর্যন্ত যে-কোন বিন্দুতেই শক্তির পরিমাণ $=mgh$।

বস্তুটি যখন ভূপৃষ্ঠে B অবস্থানে পৌঁছাইল, তখন ভূপৃষ্ঠ হইতে ইহার উচ্চতা শূন্য হওয়ায় স্থিতিশক্তি $=0$।

বস্তুটি মাটিতে আঘাত করিবার পূর্বমুহূর্তে বস্তুটির বেগ যদি v_2 হয় তবে

বস্তুটির গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv_2{}^2$ ।

এখন A হইতে B অবস্থানে বস্তুটির বেগ শূন্য হইতে v_2 হইয়াছে।

$\therefore\ v_2{}^2=0+2gh$

$\therefore$ গতি শক্তি $\frac{1}{2}mv_2{}^2=\frac{1}{2}m\times 2gh=mgh$ ।

$\therefore$ মোট শক্তি = স্থিতিশক্তি + গতিশক্তি

$=0+mgh=mgh$ ।

অর্থাৎ মাটিতে আঘাত করিবার মুহূর্তেও বস্তুটির শক্তি mgh। সুতরাং বস্তুটির গতিপথের প্রতিটি মুহূর্তেই উহার যান্ত্রিক শক্তি স্থির থাকে।

মাটিতে আঘাত করিবার পরে বস্তুটি তাহার বেগ হারাইয়া ফেলে, অর্থাৎ ইহার গতিশক্তি অন্তর্হিত হয়। কিন্তু এই শক্তির ক্ষয় হয় না; ইহা শব্দ, তাপ, মাটির কম্পন প্রভৃতিরূপে প্রকাশিত হয়।

12.15. অনুশীলন :

(অংকগুলিতে বলের ক্ষেত্রে ওজন-এককের ব্যবহার সযত্নে লক্ষ্য করিবে। যেখানে ক্ষমতাকে অশ্ব-ক্ষমতায় প্রকাশ করা হইয়াছে, সেখানেও রূপান্তরের নীতি লক্ষণীয়।)

(a) একটি লিফ্‌ট্ মোট 550 পাউণ্ড-ওজনকে একটি ছয়-তলা বাড়ীর ছাদে তুলিতে 6 সেকেণ্ড সময় নেয়। এক একটি তলার গড় উচ্চতা 12 ফুট হইলে লিফ্‌টের কার্য ক্ষমতা বাহির কর।

কার্য = বল × সরণ

লিফ্‌টটি 550 পাউণ্ড-ওজনকে 12×6 ফুট তুলিতে $550\times 6\times 12$ ফুট-পাউণ্ড কার্য করে।

অতএব ক্ষমতা $=\dfrac{550\times 6\times 12}{6}=6600$ ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড।

$\therefore$ লিফ্‌টের অশ্বক্ষমতা $=\dfrac{6600}{550}=12$ ।

(b) একটি লোকের ওজন 150 পাউণ্ড। সে 60 পাউণ্ড বোঝা লইয়া এক মিনিটে 40 ফুট উচ্চ অট্টালিকার উপরে উঠিতে পারে। সে কত কার্য করিল; তাহার অশ্ব-ক্ষমতা বাহির কর।

এখানে মানুষটিকে মোট 150+60=210 পাউণ্ড ওজন তুলিতে হইবে।
মোট কার্য=বল × সরণ=210 × 40 ফুট-পাউণ্ড=8400 ফুট-পাউণ্ড

লোকটির ক্ষমতা $= \dfrac{8400 \text{ ফুট-পাউণ্ড}}{60 \text{ সেকেণ্ড}}$।

$\therefore$ অশ্বক্ষমতা $= \dfrac{8400}{60 \times 550} = 0{\cdot}254$।

(c) একটি ইঞ্জিন মোট 200 টন ওজনের গাড়ীকে অনুভূমিক লাইনের উপরে 40 মাইল/ঘণ্টা বেগে টানিয়া লইয়া যাইতেছে। ঘর্ষণ-জনিত বাধা ইত্যাদির পরিমাণ প্রতি টনে 10 পাউণ্ড-ওজন হইলে ইঞ্জিনটি কত ক্ষমতা প্রয়োগ করিতেছে। যদি ট্রেনটিকে একই বেগে প্রতি 200-তে 1 উচ্চতার চড়াই বাহিয়া উঠিতে হয় তখন ইঞ্জিনকে কত ক্ষমতা প্রয়োগ করিতে হইবে? (C. U. 1933)

প্রথম অংশ: ঘর্ষণ-জনিত মোট বাধা=10 × 200=2000 পাউণ্ড-ওজন। গাড়ীটির সমবেগে চলিতে গেলে ঠিক এই বাধাকে জয় করিতে হইবে। ইঞ্জিন যদি ইহার চেয়ে বেশী বল প্রয়োগ করে তবে গাড়ীর ত্বরণ হইবে, আর ইহা অপেক্ষা কম বল প্রয়োগ করিলে গাড়ীটির গতি মন্দীভূত হইবে। অতএব ইঞ্জিনের প্রযুক্ত বল=2000 পাউণ্ড-ওজন।

ক্ষমতা বাহির করিতে হইলে প্রতি সেকেণ্ডে কার্য বাহির করিতে হইবে।

ঘণ্টায় 40 মাইল বেগ=

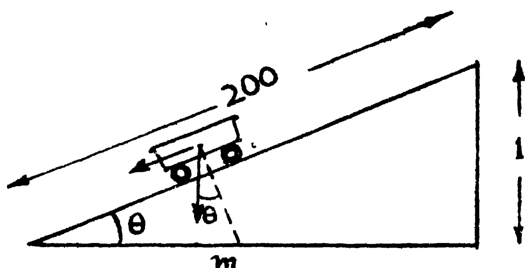
সেকেণ্ডে $\dfrac{40 \times 1760 \times 3}{60 \times 60}$ ফুট $= \dfrac{176}{3}$ ফুট/সে.।

$\therefore$ প্রতি সেকেণ্ডে কার্য=বল × সরণ

$= 2000 \times \dfrac{176}{3}$ ফুট-পাউণ্ড।

$\therefore$ অশ্বক্ষমতা $= \dfrac{2000 \times \frac{176}{3}}{550} = 213{\cdot}33$

দ্বিতীয় অংশ : গাড়ীটি যখন চড়াই বাহিয়া উঠিবে, তখন সাধারণ ঘর্ষণ ইত্যাদির বাধা ছাড়াও চড়াই-এর অতিভুজের সমান্তরাল উহার



12·3

ওজনের উপাংশও গতিতে বাধা সৃষ্টি করিবে।

মনে কর চড়াই-এর কৌণিক উচ্চতা $=\theta$

$\therefore \quad \text{Sin}\,\theta=\frac{1}{200}$ ।

ওজনের কার্যকরী উপাংশ $=mg\ \text{Sin}\,\theta=mg\times\frac{1}{200}$ ।

$\therefore$ কার্যকরী উপাংশ $=200\times\frac{1}{200}$ টন-ওজন $=1$ টন-ওজন

$=2240$ পাউণ্ড-ওজন।

অতএব এইবার ইঞ্জিনকে মোট $(2240+2000)=4240$ পাউণ্ড-ওজন বাধা জয় করিতে হইবে।

$\therefore$ প্রতি সেকেণ্ডে কার্য $=4240\times\frac{176}{3}$ ফুট-পাউণ্ড ;

অশ্বক্ষমতা $=\frac{4240}{550}\times\frac{176}{3}=452{\cdot}27$ ।

(d) 100 টন ওজনের একটি ট্রেন 100-তে 1 উচ্চতার চড়াই বাহিয়া 45 মাইল/ঘণ্টা বেগে উঠিতেছে। ঘর্ষণ, বাতাসের বাধা প্রভৃতির মোট পরিমাণ ওজনের $\frac{1}{50}$ হইলে ইঞ্জিনের অশ্বক্ষমতা বাহির কর।

(C. U. 1940)

গাড়ীর গতি $=45$ মাইল/ঘণ্টা $=66$ ফু./সে.।

ঘর্ষণ ইত্যাদির বাধা $=$ ওজনের $\frac{1}{50}$ অংশ $=100\times\frac{1}{50}$ টন-ওজন

$=2$ টন-ওজন $=2\times2240$ পাউণ্ড-ওজন $=4480$ পাউণ্ড-ওজন।

গাড়ীটি চড়াই বাহিয়া উঠিতেছে বলিয়া চড়াই-এর সমান্তরাল রেখায় গাড়ীর ওজনের উপাংশ গতিতে বাধা দেয়।

এই বাধার পরিমাণ $=100\times\frac{1}{100}$ টন-ওজন $=2240$ পাউণ্ড-ওজন।

মোট বাধা $=4480+2240=6720$ পাউণ্ড-ওজন। বেগ স্থির রহিল বলিয়া ইঞ্জিনে সমপরিমাণ বল প্রয়োগ করা হইয়াছে।

$\therefore$ প্রতি সেকেণ্ডে কার্য $=6720\times66$ ফুট-পাউণ্ড।

$\therefore$ অশ্বক্ষমতা $=\frac{6720\times66}{550}=806{\cdot}4$।

(e) একটি ইঞ্জিন 200 ফুট খাড়া উচ্চতায় ঘণ্টায় 11,000 গ্যালন জল পাম্প করিয়া তুলিতে পারে। ইঞ্জিনের অশ্বক্ষমতা কত? (1 গ্যালন জল $=10$ পাউণ্ড)।

11,000 গ্যালন জল $=11{,}000\times10=11\times10^4$ পাউণ্ড।

$\therefore$ এক ঘণ্টায় কার্যের পরিমাণ $=11\times10^4\times200$ ফুট-পাউণ্ড
$=22\times10^6$ ফুট-পাউণ্ড।

$\therefore$ কার্যক্ষমতা $=\frac{22\times10^6}{60\times60}\frac{\text{ফুট-পাউণ্ড}}{\text{সেকেণ্ড}}$

$\therefore$ অশ্বক্ষমতা $=\frac{22\times10^6}{60\times60\times550}=11{\cdot}1$।

(f) 200 টন ওজনের 90মাইল/ঘণ্টা বেগে গতিশীল একটি ট্রেনের শক্তি কত? গতিবেগ 100 মাইল/ঘণ্টা করিতে আর কতখানি শক্তি যোগ করিতে হইবে?

ট্রেনের ভর $=200\times2240=448000$ পাউণ্ড।

ট্রেনের গতিবেগ $=90$ মাইল/ঘণ্টা $=\frac{90\times1760\times3}{60\times60}=132$ফু./সে.

$\therefore$ ট্রেনের গতিশক্তি $=\frac{1}{2}\times448000\times(132)^2$ ফুট-পাউণ্ডাল
$=3902976\times10^3$ ফুট-পাউণ্ডাল।

ট্রেনের গতিবেগ বাড়িয়া 100 মাইল/ঘণ্টা $=\frac{100\times1760\times3}{60\times60}$
$=\frac{440}{3}$ ফু./সে. হইল।

গতিশক্তি $= \frac{1}{2} \times 448000 \times \left(\frac{440}{3}\right)^2 = 4818490 \times 10^3$ ফুট পাউণ্ডাল।

$\therefore$ শক্তির বৃদ্ধি $= (4818490 - 3902976) \times 10^3$ ফুট-পাউণ্ডাল

$= 915514 \times 10^3$ ফুট-পাউণ্ডাল।

(g) 200 গ্রাম ওজনের একটি বস্তু 5 মিটার উচ্চতা হইতে মাটিতে পড়িল। বস্তুটির পতনের সময়ে গতিশক্তি কত ছিল।

($g = 980$ সেমি./ব.সে.)।

বস্তুটির ভর $m = 200$ গ্রাম,

$g = 980$ সেমি./ব.সে.

উচ্চতা $h = 5$ মিটার $= 500$ সেমি.।

$\therefore$ উর্ধ্বে স্থিতিশক্তি $= 200 \times 980 \times 500 = 9{\cdot}8 \times 10^7$ আর্গ।

মাটিতে পড়িবার মুহূর্তে এই শক্তিই গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হইয়াছে। কাজেই মোট গতিশক্তি $= 9{\cdot}8 \times 10^7$ আর্গ।

(h) 100 টন ওজনের একটি ট্রেনের গতিবেগ $1\frac{1}{2}$ মাইল রাস্তা চলিতে 15 মাইল/ঘণ্টা হইতে বৃদ্ধি পাইয়া 30 মাইল/ঘণ্টা হইল। বাতাস ও লাইন প্রভৃতির বাধা যদি প্রতি টনে $7\frac{1}{2}$ পাউণ্ড-ওজন হয়, ইঞ্জিনটি কতটা কার্য করিল এবং কত ক্ষমতা ব্যবহৃত হইল ?

মোট বাধা $= 7\frac{1}{2} \times 100 = 750$ পাউণ্ড-ওজন।

এই বলের বিরুদ্ধে ইঞ্জিন $1\frac{1}{2}$ মাইল $= \frac{3}{2} \times 1760 \times 3$ ফুট $= 7920$ ফুট ধরিয়া কার্য করে।

$\therefore$ বাধাকে অতিক্রম করিয়া গাড়ীকে চলন্ত রাখিতে

মোট কার্য $= 7920 \times 750$ ফুট-পাউণ্ড $= 5940000$ ফুট-পাউণ্ড।

এই পরিমাণ কার্য করিলে গাড়ীটি সমবেগে চলিতে পারিত, এই কার্য না করিলে গাড়ীটির মন্দন হইত।

ট্রেনের গতিবেগ 15 মাইল/ঘণ্টা হইতে 30 মাইল/ঘণ্টা করিবার জন্য, অর্থাৎ ত্বরণ সৃষ্টির জন্য বাড়তি কার্য করিতে হইবে।

15 মাইল/ঘণ্টা $= 22$ ফুট/সে.।

30 মাইল/ঘণ্টা $= 44$ ফুট/সে.।

ট্রেনের ভর $= 100$ টন $= 224000$ পাউণ্ড।

∴ ট্রেনের গতিশক্তির বৃদ্ধি $=\frac{1}{2}\times 22400\times(44^2-22^2)$ ফুট-পাউণ্ডাল

$=16262400$ ফুট-পাউণ্ডাল

$=508200$ ফুট-পাউণ্ড।

অতএব মোট কার্য $=(5940000+508200)=6448200$ ফুট-পাউণ্ড।

এই সময়ে ট্রেনের গড় বেগ $=\frac{22+44}{2}=33$ ফু./সে.।

এই বেগে 7920 ফুট যাইতে ট্রেনের $\frac{7920}{33}=240$ সেকেণ্ড সময় লাগে

∴ প্রযুক্ত ক্ষমতা $=\frac{6448200}{240}$ ফুট-পাউণ্ড/সেকেণ্ড।

∴ ট্রেনের প্রযুক্ত অশ্বক্ষমতা $=\frac{6448200}{240\times 550}=48{\cdot}85$।

(i) একটি ইঞ্জিন মিনিটে 10,000 পাউণ্ড জল 80 ফু./সে. বেগে ছুড়িতে পারে। ইঞ্জিনের অশ্বক্ষমতা কত? [C.U. 1944 (Math.)]

প্রতি সেকেণ্ডে নিক্ষিপ্ত জলের পরিমাণ $=\frac{10,000}{60}$ পাউণ্ড।

এই জলের গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv^2$

$=\frac{1}{2}\times\frac{10000}{60}\times 80\times 80$ ফুট-পাউণ্ডাল

$=\frac{1}{2}\times\frac{10000\times 80\times 80}{60\times 32}$ ফুট-পাউণ্ড।

∴ ইঞ্জিনটি সেকেণ্ডে এই পরিমাণ কার্য করে।

∴ অশ্বশক্তি $=\frac{1}{2}\times\frac{10,000\times 80\times 80}{60\times 32\times 550}=30{\cdot}3$।

(j) একটি কামানের গোলা সেকেণ্ডে 200 মিটার বেগে চলিলে একটি 4 সেমি. পুরু কাঠের দেওয়ালকে মাত্র ভেদ করিতে পারে। 16 সেমি. পুরু কাঠের দেওয়ালকে ভেদ করিতে ঐ গোলার কত বেগ লাগিবে?

গোলাটি গতিশক্তি ব্যয় করিয়া কাঠের রোধ জয় করে ও উহাকে ভেদ করে।

মনে কর কাঠের রোধ প্রতি সেমিতে F ডাইন ; গোলাটির ভর=m গ্রাম।

∴ প্রথম ক্ষেত্রে গোলাটি রোধের বিরুদ্ধে মোট F×4 আর্গ কার্য করে।

গোলাটির প্রারম্ভিক গতিশক্তি $= \frac{1}{2} m \times (200 \times 100)^2$ আর্গ।

$\therefore\ F \times 4 = \frac{1}{2} m\ (200 \times 100)^2$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে গোলাটির কার্য $= F \times 16$ আর্গ।

গোলাটির প্রারম্ভিক গতিশক্তি $= \frac{1}{2} m \times v^2$, [v = গোলাটির বেগ।]

$$F \times 16 = \frac{1}{2} mv^2 \text{।}$$

অথবা, $\frac{F \times 4}{F \times 16} = \frac{\frac{1}{2} m (200 \times 100)^2}{\frac{1}{2} m\ v^2}$ $\quad \therefore \frac{1}{4} = \frac{(200 \times 100)^2}{v^2}$

অথবা, বর্গমূল করিয়া $\frac{1}{2} = \frac{200 \times 100}{v}$

$\therefore\ v = 400 \times 100$ সেমি./সে. $= 400$ মিটার/সেকেণ্ড।

(k) একটি রাইফেলের গুলি কোন কাঠের পাত ভেদ করিলে উহার বেগ $\frac{1}{16}$ পরিমাণ হ্রাস পায়। গুলিটি ঐরূপ কতগুলি কাঠের পাত ভেদ করিতে সক্ষম ? (প্রতি একক বেধের কাঠের রোধ স্থির থাকিবে)।

মনে কর গুলিটির ভর=m, কাঠে প্রবেশের পূর্বে বেগ=v ;

কাঠের রোধ প্রতি একক বেধে F, এবং প্রথম ক্ষেত্রে কাঠের বেধ=x।

∴ কাঠ ভেদ করিবার পরে গুলির বেগ$=15\frac{v}{16}$।

∴ কাঠে প্রবেশের পূর্বে গোলার গতিশক্তি$=\frac{1}{2}mv^2$,

কাঠ ভেদ করিবার পরে গতিশক্তি$=\frac{1}{2}m(\frac{15}{16}v)^2$;

∴ শক্তি ব্যয়$=\frac{1}{2}m\ [\,v^2-(\frac{15}{16}v)^2\,]=\frac{1}{2}m\frac{31}{256}.v^2$।

এই শক্তি কাঠের রোধ জয় করিকার কার্যে ব্যয় হয়।

কাঠের রোধ জয় করিয়া x দূরত্ব যাইতে কার্য=Fx।

$\therefore\ F.\,x = \frac{1}{2} \times \frac{31}{256}.\,mv^2$।

মনে কর কাঠের মোট বেধ y হইলে গুলির সমস্ত শক্তি ব্যয় হইয়া যাইত।

সে ক্ষেত্রে কাঠ ভেদ করিবার পরে গুলির বেগ $=0$

$\therefore$ গতিশক্তি $=\frac{1}{2}m\times 0=0$।

$\therefore$ গতিশক্তির ব্যয় $=\frac{1}{2}mv^2$।

$\therefore$ $\frac{1}{2}mv^2=Fy$: $Fy=\frac{1}{2}mv^2$; $Fx=\frac{1}{2}m\frac{31}{256}v^2$

$\therefore \frac{y}{x}=\frac{256}{31}=8\frac{8}{31}$।

$\therefore$ ঐ গুলি $8\frac{8}{31}$টি অর্থাৎ ৪টি কাঠের পাত ভেদ করিতে সক্ষম।

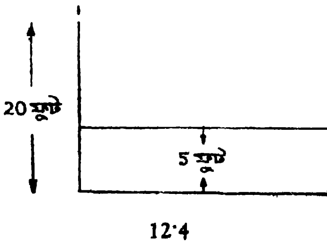
(l) ভূপৃষ্ঠ হইতে 1 মাইল উচ্চে অবস্থিত এক মেঘ বৃষ্টিতে পরিণত হইয়া $\frac{1}{2}$ বর্গমাইল স্থানে $\frac{1}{2}$ ইঞ্চি গভীর জল জমাইতে পারে। মেঘের স্থিতি-শক্তি কত ? (জলের ঘনত্ব $=62{\cdot}5$ পাউণ্ড/ঘন ফুট)।

মোট বৃষ্টির আয়তন $=\frac{1}{2}\times 1760\times 1760\times 3\times 3\times\frac{1}{24}$ ঘন ফুট।

$\therefore$ পরিমাণ $=\frac{1}{2}\times 1760\times 1760\times 3\times 3\times\frac{1}{24}\times 62{\cdot}5$ পাউণ্ড।

মেঘের স্থিতি-শক্তি $(=mgh)=\frac{1}{2}\times 1760\times 1760\times 3\times 3\times\frac{1}{24}\times 62{\cdot}5$ $\times 1\times 1760\times 3\times\frac{32}{32}$ ফুট-পাউণ্ড $=2250\times(440)^3$ ফুট-পাউণ্ড।

(m) একটি পাম্পের সাহায্যে 100 ফুট $\times$ 80 ফুট $\times$ 20 ফুট একটি অর্ধপূর্ণ পুকুর 20 ঘণ্টায় শুষিয়া লইতে হইবে। পাম্পের অশ্ব-ক্ষমতা কত ? (জলের ঘনত্ব $=62{\cdot}5$ পাউণ্ড/ঘন ফুট)।



12·4

পুকুরটি অর্ধপূর্ণ, অতএব জলের আয়তন $=100\times 80\times 10$ ঘ. ফু.। জলের পরিমাণ $=100\times 80\times 10\times 62{\cdot}5$ পাউণ্ড $=5{,}000{,}000$ পাউণ্ড।

এই জল বিভিন্ন গভীরতায় আছে। সমস্ত জলকে উপরে তুলিয়া লইতে কত কার্য হইবে তাহা বাহির করিতে গেলে আমরা কল্পনা করিব যে জল নিজের ভর-কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত আছে।

সুতরাং জলের গড় গভীরতা $=10+5=15$ ফুট।

$\therefore$ মোট কার্য $=5{,}000000\times 15$ ফুট-পাউণ্ড $=75{,}000000$ ফুট-পাউণ্ড।

এই কার্য 20 ঘণ্টায় করা হইয়াছিল।

$\therefore$ প্রতি সেকেণ্ডে কার্য $= \dfrac{75,000000}{20 \times 60 \times 60}$ ফুট-পাউণ্ড

$\therefore$ অশ্ব-ক্ষমতা $= \dfrac{75,000000}{20 \times 60 \times 60 \times 550} = 1\dfrac{59}{66}$ ।

প্রশ্নমালা

1. সংজ্ঞা লিখ : কার্য, ক্ষমতা, শক্তি । প্রতিটির এককগুলি লিখ ।
(C. U. 1961)

Define : Work, Power, Energy.
Write down the units of each.

2. "কার্য" বলিতে কি বুঝ ? আমরা সাধারণ অর্থে যাহাকে কাজ বলি তাহার সহিত ইহার সম্বন্ধ আছে কিনা বুঝাইয়া দাও ।

কার্যের একক কি কি ? ইহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ কি ?

What do you mean by "Work" ? Explain how it is related to the term work as is commonly used in our daily life.

What are the units of work ? How are they connected to one another ?

3. "ক্ষমতা" কাহাকে বলে ?

ক্ষমতার মূল একক ও ব্যবহারিক এককের সম্বন্ধ কি বাহির কর ।

What is meant by "Power" ?

Find the relations between the Absolute and Practical units of power.

4. "শক্তি" শব্দটির অর্থ কি ?

"শক্তির ক্ষয় নাই ।"—এই বাক্যটি ব্যাখ্যা কর ।

What is the meaning of the term "Energy ?"

Explain the sentence—"Energy is indestructible."

5. শক্তির রূপান্তর সম্বন্ধে যাহা জান লিখ । পতনশীল বস্তুর ক্ষেত্রে প্রমাণ কর যে শক্তি নিত্য রাশি ।

Write what you know about the transformation of energy from one form into other. Prove that for a falling body the total energy remains constant.

6. পাউণ্ড, পাউণ্ডাল, পাউণ্ড-ওজন ও ফুট-পাউণ্ডের পার্থক্য বুঝাইয়া দাও ।

একটি বস্তু স্থির অবস্থা হইতে মাটিতে পড়িতেছে। প্রমাণ কর যে উহার গতিপথের সর্বত্র মোট যান্ত্রিক শক্তি সমান থাকে।

Distinguish between Pound, Poundal, Pound-weight and Foot-Pound.

A body is falling from rest under gravity. Prove that, at every stage of its motion the total mechanical energy— remains constant. (C. U. 1932, 41, 57)

7. স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির পার্থক্য কি? তাহাদের কি ভাবে মাপা হয় বুঝাইয়া দাও। অশ্বক্ষমতা কাহাকে বলে?

Distinguish between potential energy aud kinetic energy, stating how they are measured. What is a "Horse Power"? (H. S. 1961)

8. শক্তির নিয়রূপ রূপান্তরের উদাহরণ দাও—

তাপশক্তি হইতে গতিশক্তি ও তাহার বিপরীত, রাসায়নিক শক্তি হইতে বিদ্যুৎশক্তি ও তাহার বিপরীত, গতিশক্তি হইতে আলোক ও শব্দশক্তি।

Give examples of the following transformations of energy—

Heat to Mechanical and vice versa, Chemical to Electrical and vice versa, Mechanical to Light and Sound.

9. 250 টন ওজনের একটি ট্রেন ঘণ্টায় 60 মাইল বেগে চলিতেছে। ট্রেনটির গতিশক্তি কত? গাড়ীর বেগ ঘণ্টায় 65 মাইল করিতে হইলে আর কত শক্তি যোগ করিতে হইবে? [216832×10^4 ফুট-পাউণ্ডাল: $37644 \cdot 4 \times 10^4$ ফুট-পাউণ্ডাল।]

Find the energy stored in a train weighing 250 tons and travelling at 60 m.p.h. How much energy must be added to the train to increase its speed to 65 m.p.h.? (C. U. 1925)

10. একটি ইঞ্জিন মোট 200 টন ওজনের একটি গাড়ীর গতিবেগ 15 মাইল/ঘণ্টা হইতে 30 মাইল/ঘণ্টা বাড়াইল। এই সময়ে গাড়ীটি 2 মাইল পথ অতিক্রম করিল। ঘর্ষণ ও বাতাসের বাধার পরিমাণ প্রতি টনে 10 পাউণ্ড-ওজন হইলে ইঞ্জিন কতটা কার্য করিল এবং কত ক্ষমতা প্রয়োগ করিল? [$58,924 \times 10^3$ ফুট-পাউণ্ড, 334·81 HP]

An engine increases the speed of a train of mass 200 tons from 15 miles per hour 30 m.p.h. over a distance of 2 miles. If the resistive forces be 10 lbs-wt per ton, find the work done and power applied by the engine.

11. একটি বস্তু 40 ফুট উর্ধ্ব হইতে পড়িতেছে। মাটিতে পড়িবার মুহূর্তে ইহার গতি-শক্তি কত ? (ভর=15 পাউণ্ড, g=32 ফু./ব. সে.)।

[19200 ফুট-পাউণ্ডাল।]

A body falls from a height of 40 ft. Find is kinetic energy at the moment it strikes the ground, given mass of the body=15 lbs, $g=32$ ft/sec^2.

12. গতিপথের কোন্ বিন্দুতে কোন পতনশীল বস্তুর গতিশক্তি উহার সেই বিন্দুতে স্থিতিশক্তির অর্ধেক হইবে ? [$\frac{2}{3}h$ উচ্চে]।

At what height will the kinetic energy of a falling body be half its potential energy ? (C. U. 1910.)

13. একটি 3 পাউণ্ড বস্তুকে উর্ধ্বে ছুঁড়িয়া দেওয়া হইল যেন উহা 25 ফুট উচ্চে পৌঁছায়। বস্তুটির প্রারম্ভিক গতিশক্তি কত ছিল ?

[2400 ফুট-পাউণ্ডাল]

A mass of 3 lbs is shot vertically so as to rise to a height of 25 ft. Find its initial kinetie energy. (U. P. Board 1949)

14. 75 টনের একটি গাড়ী সমতল লাইনে ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে চলিতেছিল। ষ্টিম বন্ধ করিয়া দেওয়ায় গাড়ীটি 440 গজ দূরে গিয়া থামিয়া গেল। প্রতিরোধ বল সমান থাকিলে তাহার পরিমাণ কত ?

[55 টন-ওজন]।

A train of 75 tons moving at 30 m.p.h. had the steam shut off. The constant resistance forces brought it to rest within 440 yards. Find the force. (U. P. Board 1939).

15. 1000 গ্রাম ওজনের একটি বল 200 গ্রাম একটি বস্তুর উপর আধ মিনিট কাজ করিল। বস্তুটির বেগ ও শক্তি কত হইল ?

[147150 সেমি./সে. ; 216531225×10^4 আর্গ]।

A force equal to the weight of 1000 gms acts on a 200 gm mass for half-a-minute. Calculate the velocity and energy acquired by the body. (C. U. 1932).

16. একটি কামানের গোলা 600 মিটার/সেকেণ্ড বেগে চলিলে একটি লক্ষ্য বস্তুকে বিঁধিয়া 150 মিটার/সেকেণ্ড বেগে বাহির হইয়া আসে। গোলার ভর 50 গ্রাম হইলে উহার কতটা শক্তি হ্রাস হয় ?

[8437·5 জুল]।

A cannon ball, moving at 600 metres per second penetrates a target and emerges out with a speed of 150 metres per second. The mass of the ball being 50 gms, find the loss in energy.

17. 80 টন ওজনের একটি গাড়ী সমতল লাইনে ঘণ্টায় 40 মাইল বেগে চলিতেছে। ঘর্ষণ ইত্যাদির বাধা প্রতি টনে 1 পাউণ্ড হইলে ইঞ্জিনে কত অশ্ব-ক্ষমতা প্রযুক্ত হইয়াছে ? গাড়ীকে একই বেগে প্রতি 200 ফুটে 1 ফুট উচ্চ চড়াইতে তুলিতে গেলে বাড়তি কত অশ্ব-ক্ষমতা লাগিবে ?

[8·53 H. P., 95·57 H. P.]।

A train of 80 tons mass is moving at 40 mph on a level track. If the resistance and friction be 1 fb-wt/ton, calculate the H. P. applied by the engine. What additional H. P. will be required to take the train up an incline of 1 in 200 at the same speed ?

18. প্রমাণ কর যে ইঞ্জিনের চোঙের ভিতর পিষ্টনটি যদি একই চাপের বিরুদ্ধে চলে, তবে কার্যের হার প্রতিটি স্পন্দনে চাপ এবং পিষ্টনটি যে আয়তন অপসারিত করে তাহার গুণফলের সমান। (C. U. 1941 ; P. U. 1921)

Prove that in an engine if the piston works in the cylinder against a constant pressure, then the work done per stroke is equal to the product of the pressure into the volume swept by the piston.

[পদ্ধতি : চাপ $= \frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}}$ । ∴ বল = চাপ × ক্ষেত্রফল = $P \times A$

কার্য = বল × দূরত্ব]।

19. একটি ইঞ্জিন ঘণ্টায় 20,000 গ্যালন জল 275 ফুট খাড়া উচ্চতায় তুলিতে পারে। ইঞ্জিনটি কত কার্য করে ; উহার অশ্ব-ক্ষমতা কত ?

[55×10^8 ফুট-পাউণ্ড : 27.78]

An engine is used to pump 20000 gallons of water per hour height of 275 ft. Find the H. P. required, and also the work.

20. এক ব্যক্তি লিফ্‌টে করিয়া 2 মিনিটে কোন অট্টালিকায় 70 ফুট উচ্চে চার তলায় চলিয়া গেলেন। লিফ্‌টের ওজন 1 টন ও লোকটির

ওজন 240 পাউণ্ড হইলে, কত কাজ হইল ও কত ক্ষমতা লাগিল বাহির কর। [173600 ফু.পা. ; 263 H. P.]

A man weighing 240 lbs uses a lift of mass 1 ton to go to the 70 ft high third storey of a building is 2 minuts. Calculate the work done and power required.

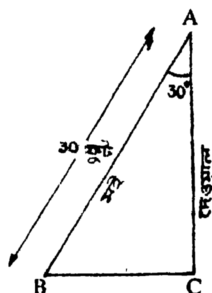
21. এক ব্যক্তি 2 টন ওজনের লিফ্‌টে করিয়া কোন বাড়ীর 75 ফুট উচ্চ পাঁচ তলায় দুই মিনিটে পৌঁছাইতে পারেন। লিফ্‌টের ক্ষমতা 5·35 H. P. হইলে লোকটির ওজন কত ? [140 পাউণ্ড]

A man takes his seat in a lift 2 ton in weight and reaches the 4th storey of a building at a hight of 75 ft, in 2 minuts. If the power required by the lift is 5.35 H. P., calculate the weight of the man.

22. একটি বাড়ীর জল-উত্তোলক পাম্পের ক্ষমতা 0·5 H. P. এবং নিপুণতা 70%। পাম্পটির বিদ্যুৎ-শক্তি ব্যয়ের হার ওয়াটে প্রকাশ কর। (1 H. P. = 746 ওয়াট।) [533 ওয়াট]।

A pump, used in lifting water, has a power of 0·5 H. P. and efficiency of 70%; find the rate at which it cosumes electrical energy in watt units. (1 H. P. = 746 Watts).

23. একটি লোক মাথায় ইঁট লইয়া 30 ফুট দীর্ঘ একটি মই বাহিয়া একটি প্রাচীরের উপরে উঠিতেছে। মইটি প্রাচীরের গায়ে 30° কোণে বসানো আছে। লোকটির ওজন 150 পাউণ্ড ও ইঁটের ওজন 60 পাউণ্ড হইলে লোকটি কতটা কার্য করিবে ? [5455·8 ফুট-পাউণ্ড]।



12·8

Find the work done by a man, himself weighing 150 lbs and carrying 60 lbs of brick in climbing up a ladder 30 ft. long upon a wall, the ladder being set making 30° with the wall.

[পদ্ধতি : লোকটি যদিও A B পরিমাণ দৈর্ঘ্য উঠিতেছে তবু যে খাড়া উচ্চতা তাহাকে উঠিতে হইতেছে তাহার পরিমাণ AC = AB cas 30° = AB × 0·866

∴ সরণ = 30 × 0·866 ফুট।]

ত্রয়োদশ পরিচ্ছেদ

স্থিতিস্থাপকতা

(Elasticity)

13.1. একটি সেতুর উপর দিয়া গাড়ী চলিবার সময়ে যদি সেতুটি বাঁকিয়া বা ভাঙিয়া যাইত তবে কি হইত? বাড়ীর ছাদ যে সমস্ত কড়ি বরগার উপর গড়িয়া তোলা হয় তখন লক্ষ্য রাখা হয় উহারা যেন ভাঙিয়া না যায় বা বাঁকিয়া না যায়। পদার্থের ভার সহ্য করিবার ক্ষমতা না থাকিলে আমরা বাড়ী বা সেতু তৈয়ারী করিবার কথা ভাবিতেই পারিতাম না।

একটি রবারের সুতাকে টানিয়া লম্বা করিয়া ছাড়িয়া দিলে আবার পূর্বের দৈর্ঘ্য ফিরিয়া পায়। রবারের বলকে চাপ দিয়া আমরা ছোট করিতে পারি, কিন্তু চাপ সরাইয়া লইলে উহা এবং উহার ভিতরের বাতাস আবার পূর্বের আয়তন ফিরিয়া পায়। রবারের তারের বা রবারের বলের বদলে আমরা লোহার তার বা বল লইয়া পরীক্ষা করিলেও একই ফল পাইতাম, কেবল সেখানে উহাদের দৈর্ঘ্য বা আয়তনের পরিবর্তন করিতে অনেক বেশী বল লাগিত।

13.2. **স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity) :** উপরের উদাহরণগুলি হইতে বুঝিতে পারিতেছ যে বল প্রয়োগে কোন পদার্থের আকারের (Configuration) পরিবর্তন করিলে বল অপসারিত হইবার পর উহা আবার পূর্বের আকার ফিরিয়া পায় বা ফিরিয়া পাইবার চেষ্টা করে। ইহার কারণ নিশ্চয় এই যে পদার্থটি নিজের আকারের পরিবর্তন সাধন পছন্দ করে না।

কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিয়া বস্তুটির আকৃতির যদি কোনরূপ বিকার ঘটানো যায় তবে বস্তুটি সেই বিকৃতি রোধের চেষ্টা করে। এই চেষ্টা বস্তুটির ভিতরে একটি বিরোধী বল রূপে প্রকাশ পায়। বিকার সাধনকারী বল সরাইয়া লইলে বস্তুটি আবার নিজের পূর্বের আকার ফিরিয়া পায়। পদার্থের এই বিশেষ ধর্মকে উহার **স্থিতিস্থাপকতা** বলে।

13.3. **স্থিতিস্থাপকতার সীমা (Elastic limit) :** বল প্রয়োগে বস্তুর বিকৃতি ঘটাইবার পর বলকে সরাইয়া লইলে বস্তুটি আবার নিজের

আয়তন ফিরিয়া পাইবে ইহাই স্থিতিস্থাপকতার ধর্ম। কিন্তু বলকে বাড়াইতে বাড়াইতে বিরাট করিয়া ফেলিলে দেখা যাইবে, এইবার বস্তুটির যে বিকৃতি ঘটানো গেল, বল অপসারিত হইলেও সে বিকৃতি রহিয়া যায়। সুতরাং বলা যায় যে পদার্থের স্থিতিস্থাপকতার একটা সীমা আছে। স্থিতিস্থাপকতার সীমাকে নানারূপ সংজ্ঞা দেওয়া যায়, সে সমস্ত পরে আলোচিত হইবে।

13 4. **পূর্ণ দৃঢ়, পূর্ণ স্থিতিস্থাপক ও পূর্ণ নমনীয় বস্তু (Perfectly Rigid, Perfectly Elastic and Perfectly Plastic Bodies) :** একই রকমের একটি রবারের ও একটি ইস্পাতের তার লইয়া তাহাদের যদি টানিয়া লম্বা করিবার চেষ্টা করা যায়, দেখা যায় তারটি লম্বায় বাড়িয়াছে, কিন্তু ইস্পাতের তার বাড়ে নাই (অর্থাৎ এত সামান্য বাড়িয়াছে যে চোখে ধরা পড়ে নাই)। বলা হয়, ইস্পাতের তারটি রবারের তার অপেক্ষা বেশী দৃঢ় (rigid)।

যে বস্তুর উপর বল প্রয়োগে উহার আকারের কোন পরিবর্তন ঘটানো যায় না, তাহাকে **পূর্ণ দৃঢ় বস্তু** বলে। কোন বস্তুই কিন্তু পূর্ণ দৃঢ় নহে। বল প্রয়োগে যত সামান্যই হউক না কেন, কিছু বিকৃতি হইবেই। ইস্পাতের তারটিকে হাত দিয়া টানিলেও তাহা দৈর্ঘ্যে কিছু বাড়বেই। তবে সাধারণভাবে ইস্পাত ও কাচকে পূর্ণ দৃঢ় বস্তু বলা যায়।

পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু : কোন বস্তুর প্রকৃতি যদি এমন হয় যে উহার উপর যত বড় বল প্রয়োগে বিকৃতি সাধন ঘটানো হউক না কেন, বল অপসারিত হইলে উহা আবার পূর্বের আকার ফিরিয়া পাইবে, তাহাকে পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু বলে। সুতরাং পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তুর স্থিতিস্থাপক সীমা অসীম।

এমন কোন বস্তু নাই যাহা পূর্ণ স্থিতিস্থাপক। তবে ইস্পাতের স্থিতিস্থাপক সীমা এত বড় যে ইহাকে পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বলা চলে।

পূর্ণ নমনীয় বস্তু : যে বস্তুর প্রকৃতি এমন যে উহার আকারের পরিবর্তন করিলে উহা নূতন আকারেই থাকিয়া যায় তাহাকে বলে পূর্ণ নমনীয় বস্তু। প্রকৃতপক্ষে যেমন পূর্ণ দৃঢ় বা পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বস্তু পাওয়া যায় না, তেমন পূর্ণ নমনীয় বস্তুও পাওয়া যায় না। তবে নরম মাটির দলা, নরম মোম কিংবা ময়দার দলা প্রভৃতি নমনীয় বস্তুর উদাহরণ।

তোমরা যাহাকে প্লাষ্টিক (plastic) বলিয়া জান তাহার ব্যবহার তাহার নমনীয়তার জন্যই। ইহাদের গরম করিলে ইহারা নমনীয় হইয়া যায়, তখন ইহাদের যে কোন রকম আকার দেওয়া যায়।

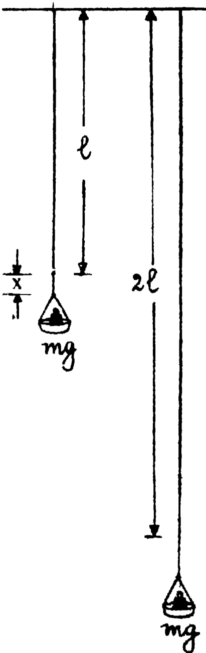
13·5. বিকৃতি ও পীড়ন (Strain and Stress) :

পরীক্ষা : (i) একটি রবারের ফিতা জোগাড় কর। ইহার প্রান্তে গিঁট বাঁধিয়া সুতার সাহায্যে একটি টিনের ঢাকনী ঝুলাইয়া দিলে তাহা ওজনের পাল্লার কাজ করিবে।

স্কেলের সাহায্যে ফিতাটির দৈর্ঘ্য মাপিয়া লও। এখন প্রায় 100 গ্রাম ওজন পাল্লায় ঝুলাইয়া দাও। দেখিবে ফিতাটি দৈর্ঘ্যে প্রসারিত হইয়া গিয়াছে। দৈর্ঘ্যের প্রসরণ মাপিয়া নাও।

ঝুলানো ওজনের পরিমাণ বাড়াইয়া 200 গ্রাম কর। দেখিবে দৈর্ঘ্যের প্রসরণ আগের বারের দ্বিগুণ হইয়াছে।

পরীক্ষা : (ii) একটি রবারের ফিতা নাও। ইহাকে কাটিয়া এমন ভাবে দুই টুকরা কর যে একটি টুকরার দৈর্ঘ্য অপরটির দ্বিগুণ হয়। দুইটি ফিতারই এক প্রান্ত ধরিয়া অপর প্রান্তে সমপরিমাণ ওজন ঝুলাইয়া দাও। দেখিবে দ্বিগুণ দৈর্ঘ্যের ফিতাটির দৈর্ঘ্যের প্রসরণ অপরটির দ্বিগুণ হইয়াছে।



13·1

একটি ফিতার দৈর্ঘ্য l এবং প্রসরণ x হইলে, $2l$ দৈর্ঘ্যের ফিতাটির প্রসরণ 2x হইবে।

পরীক্ষা : (iii) সমান দৈর্ঘ্যের একটি মোটা ও একটি সরু রবারের ফিতা সংগ্রহ কর। ইহাদের প্রান্ত হইতে সমান ওজন ঝুলাইয়া দাও। দেখিবে সরু ফিতাটির দৈর্ঘ্য-প্রসরণ বেশী ও মোটা ফিতাটির প্রসরণ কম হইয়াছে।

উপরোক্ত তিনটি পরীক্ষা হইতে বুঝিতে পারা যায়—

(i) দৈর্ঘ্যের প্রসরণ প্রসারক বলের সহিত বৃদ্ধি পায় ;

(ii) সমপরিমাণ বল দিলেও, দৈর্ঘ্য বেশী হইলে প্রসরণও বাড়ে।

ছোট ফিতাটির ক্ষেত্রে প্রসরণ ও দৈর্ঘ্যের অনুপাত $= \frac{x}{l}$,

লম্বা ফিতাটির ক্ষেত্রেও অনুপাত $= \frac{2x}{2l} = \frac{x}{l}$ ।

অর্থাৎ, সমপরিমাণ বল প্রযুক্ত হইলে $\frac{x}{l}$ কিংবা প্রতি একক দৈর্ঘ্যে প্রসরণের পরিমাণ স্থির থাকে।

একক দৈর্ঘ্যে প্রসরণের পরিমাণকে, কিংবা প্রসরণ ও মূল দৈর্ঘ্যের অনুপাতকে দৈর্ঘ্য-বিকৃতি (**Longitudinal Strain** বা **Length-Strain** বলে।)

(iii) তৃতীয় পরীক্ষা হইতে দেখা যায়, একই বল প্রয়োগ করিলেও ফিতার প্রস্থচ্ছেদ বেশী হইলে প্রসরণ কম হয়, অর্থাৎ দৈর্ঘ্য-বিকৃতি কম হয়। অর্থাৎ বিকৃতি প্রত্যক্ষভাবে মোট বলের উপর নির্ভর করে না, উহা নির্ভর করে প্রতি একক প্রস্থচ্ছেদের উপর কত বল প্রযুক্ত হইল তাহার উপর।

তাহা হইলে তারের স্থিতিস্থাপক ব্যবহারকে আমরা নীচের ন্যায় ধাপে ধাপে বিচার করিতে পারি—

(a) প্রতি একক বর্গ প্রস্থচ্ছেদের উপর বল প্রয়োগ করিবার ফলে দৈর্ঘ্যের বিকৃতি হইল।

(b) দৈর্ঘ্যের বিকৃতির ফলে তারটি স্থিতিস্থাপক গুণের জন্য নিজের দেহের ভিতরে একটি **প্রত্যানয়নী বল (Restoring force)** সৃষ্টি করে।

(c) বিকৃতি-সাধনকারী বল এবং প্রত্যানয়নী বল নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র অনুসারে পরস্পর সমান। সুতরাং প্রতি একক প্রস্থচ্ছেদে প্রযুক্ত বল ও প্রতি একক প্রস্থচ্ছেদে সৃষ্ট প্রত্যানয়নী বল পরস্পর সমান। এই একক বর্গ প্রস্থচ্ছেদে সৃষ্ট প্রত্যানয়নী বলকে পীড়ন বলে।

13.6. বিকৃতি ও পীড়নের বিভিন্ন রূপ (Different types of Strain and Stress) :



P

13·2

দৈর্ঘ্য-বিকৃতি ও দৈর্ঘ্য-পীড়ন (Longitudinal Strain and Longitudinal Stress) :

যেখানে বল প্রয়োগে কোন তার বা দণ্ডের দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন সাধন করা হয়, সেখানে যে বল প্রয়োগ করা হয় তাহা তারের দৈর্ঘ্যের অভিমুখে এবং উহার প্রস্থচ্ছেদের সহিত লম্বভাবে প্রযুক্ত হয়।

তারের প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য যদি l হয় এবং বৃদ্ধি x হয়, তবে দৈর্ঘ্য বিকৃতি $= \frac{x}{l}$ ।

দৈর্ঘ্য-বিকৃতির সংজ্ঞা : বল প্রয়োগে যখন কোন বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন সাধন করা হয়, তখন প্রতি একক দৈর্ঘ্যের যে পরিবর্তন, কিংবা মোট পরিবর্তন ও প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্যের যে অনুপাত, তাহাকে উহার দৈর্ঘ্য-বিকৃতি বলা হয়।

দৈর্ঘ্য-বিকৃতি একই প্রকৃতির দুইটি রাশির (অর্থাৎ দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি এবং মূল দৈর্ঘ্যের) অনুপাত হওয়ায় উহার কোন একক নাই, উহা একটি বিশুদ্ধ গাণিতিক সংখ্যা (pure number)।

দৈর্ঘ্য যদি সেন্টিমিটারে মাপা হয়, তবে দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধিও সেন্টিমিটারে মাপা হইবে সুতরাং বিকৃতি দুইটি সেন্টিমিটার রাশির অনুপাত হওয়ায় উহার কোন একক থাকিবে না।

দৈর্ঘ্য-বিকৃতির ফলে তারটির মধ্যে দৈর্ঘ্য বরাবর প্রত্যানয়নী বলের ও পীড়নের সৃষ্টি হইবে। এই পীড়নের পরিমাণ তারের প্রতি একক প্রস্থচ্ছেদে প্রযুক্ত বিকার সাধনকারী বলের সমান হইবে।

তারের প্রস্থচ্ছেদ যদি A হয়, এবং বিকার সাধনকারী বল যদি P হয় তবে প্রতি একক প্রস্থচ্ছেদে প্রযুক্ত বল হইবে $\frac{P}{A}$, অতএব দৈর্ঘ্য-পীড়ন হইবে $\frac{P}{A}$।

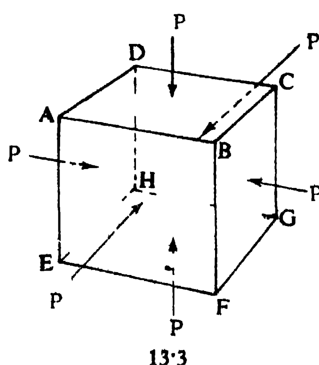
দৈর্ঘ্য-পীড়নের সংজ্ঞা : কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগে যদি উহার দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন সাধন করা যায়, তবে এই পরিবর্তনের বিরোধিতা করিবার জন্য বস্তুটির ভিতরে প্রত্যানয়নী বলের সৃষ্টি হয়। এই বল বস্তুটির দৈর্ঘ্য বরাবর এবং বিকার সাধনকারী বলের বিপরীত অভিমুখে ক্রিয়া করে। বস্তুটির প্রতি একক প্রস্থচ্ছেদে যতটুকু প্রত্যানয়নী বল সৃষ্টি হয় উহাকেই দৈর্ঘ্য-পীড়ন বলে। দৈর্ঘ্য-পীড়ন মাপা হয় একক প্রস্থচ্ছেদে প্রযুক্ত বিকার সাধনকারী বলের দ্বারা।

দৈর্ঘ্য-পীড়নের একক হইল বল ও প্রস্থচ্ছেদের এককের অনুপাত। বল যদি ডাইন-এ এবং প্রস্থচ্ছেদ বর্গ সেন্টিমিটারে মাপা হয় তবে দৈর্ঘ্য-পীড়ন ডাইন/ব. সেমি এককে মাপা হইবে।

আমরা যদি তারের উপর প্রসারক বল না দিয়া সংকোচক বল প্রয়োগ করিতাম তবে দৈর্ঘ্যের হ্রাস হইত, কিন্তু উপরে বর্ণিত বিকৃতি ও পীড়নের সৃষ্টি একই রূপে হইত।

আয়তন-বিকৃতি ও আয়তন-পীড়ন (Volume Strain and Volume Stress) :

কোন বস্তুর আয়তনের পরিবর্তন ঘটাইতে হইলে, চিত্রের ন্যায় উহার উপর সর্বদিক হইতে বল প্রয়োগ করিতে হয়। কেবল মাত্র কোন একদিক হইতে, যেমন মনে কর BCGF এবং ADHE পৃষ্ঠে, বা AB বাহুর সমান্তরাল অভিমুখে বল প্রয়োগ করিলে সেই দিকে দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন ঘটে কিন্তু উহার লম্ব দিকে অর্থাৎ BF ও BC বাহুর দিকে বিপরীত পরিবর্তন হয় ; চিত্রে AB অভিমুখে দৈর্ঘ্যের হ্রাস হইত এবং BF ও BC অভিমুখে দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি পাইত (অবশ্য তোমরা পরে দেখিবে AB বরাবর দৈর্ঘ্য-বিকৃতি BF ও BC বরাবর বিকৃতি অপেক্ষা বেশী হয়)।



13·3

বস্তুটির প্রারম্ভিক আয়তন যদি V থাকে এবং আয়তনের পরিবর্তন

(এখানে হ্রাস) v হয়, তবে $\frac{v}{V}$ অনুপাতকে উহার আয়তন-বিকার বলে।

সুতরাং **আয়তন-বিকারের সংজ্ঞা** : কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগে উহার আয়তনের পরিবর্তন ঘটাইলে আয়তনের পরিবর্তন ও মূল আয়তনের অনুপাতকে কিংবা প্রতি একক আয়তনে আয়তনের পরিবর্তনকে বস্তুটির আয়তন-বিকৃতি বলে। আয়তন-বিকৃতি একই শ্রেণীর দুইটি রাশির অনুপাত বলিয়া ইহার কোন একক নাই, ইহা একটি বিশুদ্ধ গাণিতিক সংখ্যা।

আয়তনের বিকৃতির ফলে বস্তুটির ভিতরে প্রত্যানয়নী বলেব সৃষ্টি হইয়া বস্তুটি পূর্বের আয়তনে ফিবিয়া যাইতে চাহে। প্রতি একক ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট পৃষ্ঠে সৃষ্ট লম্ব প্রত্যানয়নী বলকে আয়তন-পীডন বলে। নিউটনের সূত্র অনুযায়ী এই পীডন প্রতি একক পৃষ্ঠে প্রযুক্ত বলের সমান। চিত্রে একটি ঘনকের আয়তন-বিকার দেখানো হইয়াছে। প্রতি পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল যদি A হয়, তবে আয়তন-পীডন $= \frac{6P}{6A} = \frac{P}{A}$ ।

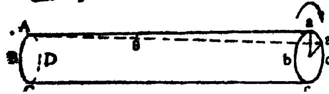
আয়তন-পীড়নের একক বল ও ক্ষেত্রফলেব এককের অনুপাত। বল ডাইন এবং ক্ষেত্রফল বর্গ সেমি. এককে প্রদত্ত হইলে আয়তন-পীডন ডাইন/ব. সেমি এককে বাহির হইবে।

সাধারণভাবে **বিকৃতির সংজ্ঞা** : কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগে উহার কোন মাত্রার পরিবর্তন সাধন করিলে, প্রতি একক মাত্রায় (Dimension) পরিবর্তনের পরিমাণকে উহার বিকৃতি বলে। কোন মাত্রার পরিবর্তন মাত্রার এককেই মাপা হয় বলিয়া বিকৃতি একটি শুদ্ধ গাণিতিক রাশি, ইহার কোন একক নাই।

পীড়নের সংজ্ঞা : কোন বস্তুর উপরে বল প্রয়োগ করিয়া উহার বিকৃতি-সাধন করিলে সেই পরিবর্তন রোধ করিবার জন্য উহা নিজের দেহের ভিতরে প্রত্যানয়নী বলের সৃষ্টি করে। বস্তুটির পৃষ্ঠের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে সৃষ্ট প্রত্যানয়নী বলের পরিমাণকেই পীড়ন বলে। পীডনের পরিমাণ হয় বস্তুটির পৃষ্ঠের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে বাহির হইতে প্রযুক্ত বিকার সাধনকারী বলের দ্বারা। পীড়ন বল ও ক্ষেত্রফলের অনুপাতের এককে মাপা হয়।

13.7. মোচড় (Shear) : গামছা নিঙড়ানোর সময়ে তোমরা উহার এক প্রান্ত চাপিয়া ধরিয়া অন্য প্রান্তে মোচড় দাও। এখানে দেখিবে, গামছার কোন স্তরের সরণ হইতেছে অন্য স্তরগুলির সমান্তরাল অভিমুখে।

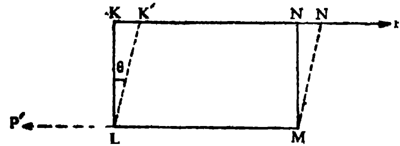




13·4 মোচড়

যেখানে কোন বস্তুর উপর এমন ভাবে বিকার সাধনকারী বল প্রয়োগ করা হয় যে বস্তুটির বিভিন্ন স্তরের সমান্তরাল সরণ ঘটে এবং বস্তুটির দৈর্ঘ্য বা আয়তনের পরিবর্তন ঘটে না, সে ক্ষেত্রে বলা হয় বস্তুটির উপর মোচড় প্রযুক্ত হইয়াছে। 13·4 নং চিত্রে দেখিবে একটি দণ্ডের উপর মোচড় প্রযুক্ত হওয়ায় উহার ABCD পৃষ্ঠের তুলনায় abcd পৃষ্ঠের সমান্তরাল সরণ ঘটিয়াছে, এবং এই পৃষ্ঠের a বিন্দু a′ অবস্থানে সরিয়া গিয়াছে।

13·5 নং চিত্রে মোচড়ের ক্ষেত্রে বিকৃতি ও পীডনের হিসাব দেখানো হইয়াছে। মনে কর একটি মোটা বই টেবিলের উপর শোয়ানো রহিয়াছে। এখন বইটির উপরের পৃষ্ঠের উপর হাতের তালু দিয়া অনুভূমিক দিকে বল প্রয়োগ করিলে বইটি আয়তক্ষেত্রিক হইতে সামন্তরিক প্রস্থচ্ছেদ লাভ করিবে। বই-এর প্রতিটি পাতা নীচের পাতার সমান্তরাল অভিমুখে সামান্য পরিমাণ অপসৃত হইবে। বই-এর প্রস্থচ্ছেদ KLMN হইতে K′LMN′ হয়। এখানে লক্ষ্য কর বল প্রয়োগ করা হইয়াছে পৃষ্ঠের সহিত স্পর্শক ভাবে, পৃষ্ঠের লম্ব অভিমুখে নহে, এবং বিকৃতিও ঘটিয়াছে পার্শ্বদিকে (laterally), লম্ব দিকে নহে।



13·5

LM স্তরের অনুপাতে KN স্তরের পার্শ্বদিকে সরণ হইয়াছে KK′ পরিমাণ। সুতরাং একক দূরত্বে অবস্থিত দুইটি স্তরের মধ্যে আনুপাতিক সরণ হইবে $\frac{KK'}{KL}$। এই সরণ দিয়াই মোচড়ের বিকৃতি মাপা হয়। আবার যদি $\angle KLK' = \theta$ রেডিয়ান হয়, তবে $\frac{KK'}{KL} = \tan\theta = \theta$, কারণ θ-এর

মান সাধারণতঃ খুব অল্প হয়। সুতরাং θ কোণ দ্বারাও মোচড়ের বিবৃতি (Shearing Strain), মাপা যায়। অনেক সময়ে মোচড়ের বিকৃতিকে কেবল মাত্র মোচড় (Shear) বলিয়াই বর্ণনা করা হয়।

KN পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল ∝ হইলে, একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত বলের পরিমাণ $\frac{P}{\propto}$। পীড়নের পরিমাণও ইহাই।

[দ্রষ্টব্য : নিউটনের সূত্র অনুসারে LM স্তরেও একটি প্রতিক্রিয়া বল কাজ করে, চিত্রে তাহাকে P′ বলিয়া দেখানো হইয়াছে। P′=P]।

দৈর্ঘ্য বা আয়তনের বিকার হইতে মোচড়ের মূল পার্থক্য এই যে মোচড়ের জন্য বল প্রযুক্ত হয় পৃষ্ঠের স্পর্শকভাবে, লম্বভাবে নয়।

(13·4 নং চিত্রে মোচড় θ-কে লক্ষ্য কর)।

মোচড়ের সংজ্ঞা : কোন বস্তুর পৃষ্ঠের উপর স্পর্শক ভাবে কোন বিকার-সাধনকারী বল প্রয়োগ করিলে উহার বিভিন্ন স্তরের বলের সমান্তরাল অভিমুখে সরণ হয়। স্তরগুলির কৌণিক সরণ বা একক দূরত্বে অবস্থিত দুইটি স্তরের মধ্যে আপেক্ষিক সরণকে বস্তুটির মোচড় (Strain) বা মোচড়ের বিকৃতি (Shearing Strain) বলে।

মোচড়ের পীড়নের সংজ্ঞা : কোন বস্তুর মোচড় হইলে, উহার ভিতরে যে প্রতিক্রিয়া বলের সৃষ্টি হয়; প্রতি একক ক্ষেত্রফলে সৃষ্ট সেই বলের পরিমাণই মোচড়ের পীড়ন (Shearing Strain)। এই পীড়ন পৃষ্ঠের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত বিকার-সাধনকারী বলের সমান ও বিপরীত।

13.8. হুকের সূত্র (Hooke's Law) : বয়েলের সমসাময়িক বিজ্ঞানী হুক যে সূত্র আবিষ্কার করেন, তাহাই স্থিতিস্থাপকতার মূল সূত্র। তাঁহার মতে—

"স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে পীড়ন বিকৃতির সমানুপাতী।"

পীড়ন ∝ বিকৃতি, কিংবা পীড়ন=ধ্রুবসংখ্যা × বিকৃতি।

সুতরাং $\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$ একটি ধ্রুব-সংখ্যা।

এই ধ্রুব-সংখ্যাকে স্থিতিস্থাপক গুণাংক (Modulus of Elasticity) বলে। যে কোন প্রকারের বিকারের বেলায়ই হুকের সূত্র প্রযোজ্য।

13.9. বিভিন্ন প্রকারের স্থিতিস্থাপক গুণাংক (Different Elastic Moduli) : বিকারের ধরণের উপর $\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$ অনুপাতের মান নির্ভর করে। সেজন্য বিভিন্ন প্রকারের বিকারের বেলায় এই অনুপাতকে বিভিন্ন নাম দেওয়া হয়।

(i) **ইয়ং গুণাংক (Young's Modulus) :** বল প্রয়োগে যদি কোন বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন ঘটানো হয় এবং উহার আয়তন বা আকার অপরিবর্তিত (প্রায়) থাকে, তবে স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে উহার দৈর্ঘ্য-পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাতকে ইয়ং গুণাংক বলা হয়। যদি বস্তুটির প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য l, দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন x, প্রস্থচ্ছেদ α এবং প্রযুক্ত বল P হয়,

তবে দৈর্ঘ্য-বিকৃতি $= \frac{x}{l}$, এবং দৈর্ঘ্য-পীড়ন $= \frac{P}{\alpha}$ ।

অতএব ইয়ং গুণাংক $Y = \frac{P}{\alpha} \Big/ \frac{x}{l}$ ।

C.G.S. পদ্ধতিতে, পীড়নের একক ডাইন/ব. সেমি. এবং বিকৃতির কোন একক নাই। অতএব ইয়ং গুণাংকের একক ডাইন/ব. সেমি.।

F.P.S. পদ্ধতিতে পীড়নের একক পাউণ্ডাল/ব. সেমি. এবং বিকৃতির কোন একক নাই ; অতএব ইয়ং গুণাংকের একক পাউণ্ডাল/ব. সেমি.।

তবে ইঞ্জিনীয়াররা অনেক ক্ষেত্রেই পীড়নকে পাউণ্ড/ব. ইঞ্চি (এখানে পাউণ্ড অর্থ পাউণ্ড-ওজন) এককে প্রকাশ করেন। এক্ষেত্রে ইয়ং গুণাংকের একক পাউণ্ড/ব. ইঞ্চি।

(ii) **আয়তন গুণাংক (Bulk Modulus) :** বল প্রয়োগে যখন কোন বস্তুর আয়তনের বিকার ঘটানো হয়, তখন স্থিতিস্থাপক সীমার মান উহার পীড়ন ও আয়তন বিকৃতির অনুপাতকে আয়তন বলা হয়।

কোন বস্তুর প্রারম্ভিক আয়তন V এবং আয়তনের পরিবর্তন (হ্রাস বা বৃদ্ধি) v, যে পৃষ্ঠগুলিতে বল প্রযুক্ত হইল সেই পৃষ্ঠগুলির ক্ষেত্রফল α এবং মোট প্রযুক্ত বল P হইলে,

বিকৃতি $= \frac{v}{V}$ এবং পীড়ন $= \frac{P}{\alpha}$ ।

$\therefore$ আয়তন গুণাংক $K = \dfrac{P/\alpha}{\dfrac{v}{V}}$ ।

$\dfrac{v}{V}$ এর কোন একক না থাকায় আয়তন গুণাংকের একক পীড়নের এককের মত। অতএব Y-এর এবং K-এর একক এক (যদিও মান আলাদা)।

(iii) দৃঢ়তা গুণাংক (Modulus of Rigidity) :

কোন বস্তুর আয়তন বা দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন না ঘটাইয়া আকৃতির পরিবর্তন ঘটাইবার জন্য কোন পৃষ্ঠের স্পর্শক অভিমুখে বল প্রয়োগ করিলে উহার পীড়ন ও মোচড়ের অনুপাতকে দৃঢ়তা গুণাংক বলে।

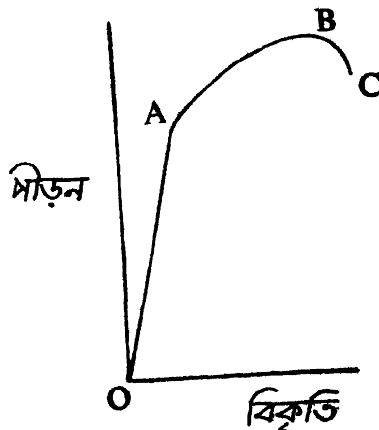
যে পৃষ্ঠে বল প্রযুক্ত হইল তাহার ক্ষেত্রফল α ও প্রযুক্ত স্পর্শক বল P হইলে, এবং মোচড় θ হইলে,

দৃঢ়তা গুণাংক $n = \dfrac{P/L}{\theta}$ ।

দৃঢ়তা গুণাংকের একক ইয়ং গুণাংকের মতই হয়।

13.10. পীড়ন ও বিকৃতির লেখ-চিত্র (Stress-Strain Diagram) :

মনে কর একটি তারের উপর বল প্রয়োগ করিয়া উহার দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন ঘটানো হইতেছে (চিত্র নং 13·2)।



13·6

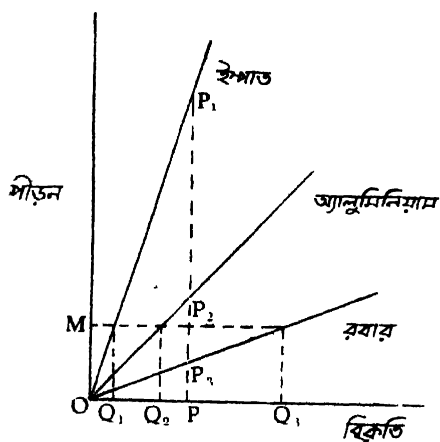
যদি তারের বিকৃতি ও পীড়ন লইয়া লেখ-চিত্র অংকন করা যায় তবে 13·6 নং চিত্রের একটি গ্রাফ পাওয়া যাইবে। এই গ্রাফের O হইতে A অংশ পর্যন্ত সরল রেখা অর্থাৎ এই অংশে পীড়ন ও বিকৃতি পরস্পর সমানুপাতী। এই অংশে হুকের সূত্র খাটে। A বিন্দু হইল বস্তুটির **স্থিতিস্থাপক সীমা (Elastic limit)**। ইচ্ছা করিলে A বিন্দুতে পীড়ন বা বিকৃতি যে

কোন রাশি দিয়াই স্থিতিস্থাপক সীমাকে প্রকাশ করা যায়। A হইতে B পর্যন্ত অংশে বিকৃতি বাড়িলে পীড়ন বাড়িতেছে বটে, অর্থাৎ বস্তুটির বিকৃতি বাড়াইবার জন্য প্রযুক্ত বলের পরিমাণ বাড়াইতে হইতেছে বটে, কিন্তু ইহারা আর সমানুপাতিক নাই। B বিন্দু পার হইলে দেখিবে বিকৃতি বাড়িতেছে কিন্তু পীড়ন কমিতেছে, অর্থাৎ প্রযুক্ত বল না বাড়াইলেও তারটি লম্বায় বাড়িতে থাকে, এমন কি তখন যদি ঝুলানো ওজন কমাইতে থাকা যায় তবুও দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি বন্ধ হয় না।

এই সময়ে লক্ষ্য করা যায় যে তারটির কোন এক স্থানে উহা ক্রমে সরু হইতে থাকে, এবং অবশেষে ছিঁড়িয়া যায় (C বিন্দু)। 13·7 চিত্রের 1নং রেখায় ইস্পাতের ও 2নং রেখায় অ্যালুমিনিয়ামের ব্যবহার দেখানো হইয়াছে। সম পরিমাণ বিকৃতির জন্য ইস্পাতের পীড়ন বেশী হয়, অর্থাৎ ইস্পাতের ক্ষেত্রে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে বেশী বল প্রয়োগ করিতে হয়। তাই ইস্পাতের ইয়ং গুণাংক অ্যালুমিনিয়াম অপেক্ষা বেশী, এবং ইস্পাতকে বেশী স্থিতিস্থাপক বলা হয়।

আয়তন বিকার বা মোচড়ের ক্ষেত্রেও আমরা একই ধরনের চিত্র পাই।

13.11. কম ও বেশী স্থিতিস্থাপক বস্তু: আমরা সাধারণতঃ শুনিয়া থাকি যে রবার ইস্পাত অপেক্ষা বেশী স্থিতিস্থাপক। কিন্তু এই ধারণা ভুল।

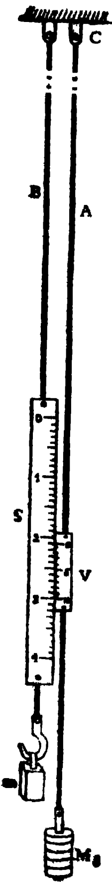


13·7

13·7 নং চিত্রে ইস্পাত ও রবারের পীডন-বিকৃতির লেখ-চিত্র দুটি তুলনা করিলে দেখা যাইবে একই বিকৃতি OP এর জন্য ইস্পাতের পীড়ন PP_1, রবারের পীড়ন PP_3 অপেক্ষা বেশী। সুতরাং ইস্পাতের ইয়ং গুণাংক (পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাত বেশী)।

সাধারণ অভিজ্ঞতায় দেখা যায়, রবারের ফিতাকে টানিলে উহা বেশী লম্বা হয়, ইস্পাতের তারকে হাত দিয়া টানিলে উহার বৃদ্ধি হয় না। সুতরাং

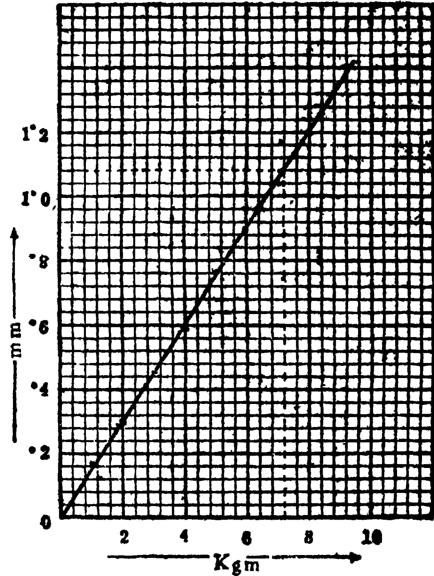
প্রতি একক ক্ষেত্রফলে কিছু পরিমাণ বল প্রয়োগে ইস্পাতের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি অপেক্ষা রবারের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি অনেক বেশী। একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত বল পীড়নের সমান। সুতরাং একই পীড়নে ইস্পাতের বিকৃতি কম, রবারের বিকৃতি বেশী, অতএব পীড়ন ও বিকৃতির অনুপাত ইস্পাতের ক্ষেত্রে বেশী। 13·7নং চিত্রে ইস্পাত ও রবারের ক্ষেত্রে একই পীড়ন OM-এর জন্য বিকৃতি OQ_1 ও OQ_2 দেখানো হইয়াছে। স্বভাবতঃই $\frac{OM}{OQ_1}$ এর মান $\frac{OM}{OQ_2}$ এর মান অপেক্ষা বেশী।



13·8

13.12. তারের ইয়ং গুণাংক নির্ণয় (Determination of Young's Modulus of a material in the form of a wire) :

যে তারের ইয়ং গুণাংক নির্ণয় করিতে হইবে তাহার দুইটি সমদৈর্ঘ্যের টুকরা (প্রায় 2-3 মিটার) কাটিয়া লওয়া হয়।



13 9

একটি দৃঢ় আলম্ব C হইতে উহাদের পাশাপাশি ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। তার দুইটির মধ্যে একটিকে (A) পরীক্ষার জন্য ব্যবহার করা হয় এবং অপরটি (B) সহায়ক তার হিসাবে থাকে।

সহায়ক তারের নীচের দিকে একটি স্কেল S আটকাইয়া দেওয়া হয় এবং পরীক্ষাধীন তারের সহিত একটি ভার্নিয়ার স্কেল V থাকে। ভার্নিয়ারটি মূল স্কেলের গায়ে চলিতে পারে। উভয় তারের নীচেই ওজন ঝুলানোর পাল্লা থাকে।

পরীক্ষা ঃ উভয় তারের নীচে কিছুটা করিয়া ওজন দাও, যেন তারের কোথাও কোন কুঞ্চন (kink) না থাকে। মাইক্রোমিটার স্ক্রু গেজ দিয়া পরীক্ষাধীন তারের ৫-৬ স্থানে উহার ব্যাস সতর্কভাবে মাপিয়া লও। প্রতি স্থানে পরস্পর সমকোণী দুইটি তলে ব্যাস মাপিয়া লইতে হয়, যাহাতে তারটির প্রস্থচ্ছেদ যদি ঠিক বৃত্তাকার না হয় তবে তাহার জন্য ভ্রান্তি হ্রাস পায়। আলম্ব হইতে পরীক্ষাধীন তারে সংলগ্ন ভার্নিয়ারের O দাগ পর্যন্ত দৈর্ঘ্য মাপিয়া লও।

বিভিন্ন ভৌতিক রাশির ধ্রুবক (Physical constants) দেওয়া আছে এমন কোন পুস্তক হইতে তারটির ছিন্নকারী পীড়ন (Breaking stress) বাহির করিয়া লও (চিত্র নং 13·6 এর C বিন্দু)। তোমাকে স্থিতিস্থাপক সীমার নীচে কাজ করিতে হইবে, সুতরাং তুমি যে পীড়ন প্রয়োগ করিবে তাহা ছিন্নকারী পীড়ন অপেক্ষা অনেক কম হইতে হইবে। ছিন্নকারী পীড়নকে তারের প্রস্থচ্ছেদ (πr^2) দিয়া গুণ করিয়া পরীক্ষাধীন তারটির ছিন্নকারী ভার (Breaking weight) পাওয়া যায়। এই ওজনের অর্ধেক হইবে তোমার পরীক্ষায় প্রযুক্ত ভারের ঊর্ধ্বতন সীমা (limiting load)।

পরীক্ষাধীন তারের ভার্নিয়ারের পাঠ নির্ণয় কর। এখন তারের প্রান্তে সুবিধা মত 1 বা 0·5 কিলোগ্রাম ভার ঝুলাইয়া দাও। কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিয়া ভার্নিয়ারের বর্তমান পাঠ নাও। উভয় পাঠের পার্থক্য তারের দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি নির্দেশ করিবে। তারের কুঞ্চন দূর করিবার জন্য যে ভার দেওয়া হয় তাহার জন্য দৈর্ঘ্যের যে বৃদ্ধি হয় তাহাকে হিসাবে ধরা হয় না। সেজন্য তারকে টান করিবার জন্য প্রদত্ত ভারকে প্রারম্ভিক ভার (Dead load) বলা হয়। এখন যে ভার দেওয়া হইল তাহাকেই তারে প্রদত্ত মোট ভার ধরা হয় এবং এখনকার বৃদ্ধিকেই মোট বৃদ্ধি বলা হয়।

একই ভাবে 0·5 বা 1 কিলোগ্রামের ধাপে ধাপে তারে প্রদত্ত ভার বাড়াইয়া যাও ও প্রতিটি ভারের জন্য ভার্নিয়ারের পাঠ দেখ। এই পাঠ ও প্রারম্ভিক পাঠের অন্তরই প্রদত্ত ভারে তারের দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি দিবে।

এই ভাবে আট-দশটি পাঠ নাও। খেয়াল রাখিবে যে প্রারম্ভিক ভার ও প্রদত্ত বিকার-সাধনকারী ভারের মোট পরিমাণ প্রযুক্ত ভারের উর্ধ্বতন সীমা ছাড়াইয়া না যায়।

এখন ঠিক সমান ধাপে ওজন কমাইতে থাক। এক এক ধাপ ওজন কমাইয়া কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিবে এবং তার পর ভার্নিয়ারের পাঠ লইবে।

অতএব প্রতিটি ভারের জন্য ওজন বৃদ্ধির সময়ে একটি ও ওজন হ্রাসের সময়ে একটি, মোট দুইটি ভার্নিয়ারের পাঠ পাইবে। ইহা হইতে গড় পাঠ পাওয়া যায়।

ভার এবং দৈর্ঘ্যের গড় বৃদ্ধিকে গ্রাফে অংকন করিলে 13·9 নং চিত্রের ন্যায় একটি চিত্র পাওয়া যায়। ইহা হইতে সুবিধাজনক কোন কৌণিক বিন্দু লইয়া (চিত্রে ভাঙা রেখা—broken line দ্রষ্টব্য) সেখানকার ভার ও বৃদ্ধি পাঠ কর।

নীচের হিসাব হইতে ইয়ং গুণাংক নির্ণয় কর।

তারের দৈর্ঘ্য $=l$ সেমি, তারের ব্যাসার্ধ r সেমি। ∴ তারের প্রস্থচ্ছেদ $=\pi r^2$,

গ্রাফ হইতে প্রাপ্ত ভার $=$ M গ্রাম

$=$ Mg ডাইন। (প্রারম্ভিক ভার বাদে)।

গ্রাফ হইতে প্রাপ্ত দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি $=$ x সেমি। (প্রারম্ভিক পাঠ বাদে)।

পীড়ন $=\frac{Mg}{\pi r^2}$ ডাইন/ব. সেমি., বিকৃতি $=\frac{x}{l}$ ।

$$\therefore \quad Y=\frac{Mg/\pi r^2}{x/l}$$ ডাইন/ব. সেমি।

[মনে রাখিবে, ব্যাসার্ধ মিলিমিটারে বাহির হয়, তাহাকে সেমি. করিয়া লইতে হয়। ভার কিলোগ্রামে বাহির হয়, তাহাকে 1000 গুণ করিয়া গ্রাম করিতে হয়।]

দ্রষ্টব্য ঃ

(i) তার ঝুলাইবার আলম্ব দৃঢ় না হইলে ভার বাড়াইলে উহা অনেকটা নামিয়া যাইবে।

(ii) পরীক্ষাধীন ও সহায়ক তার একই আলম্ব হইতে ঝুলাইতে হয়, কারণ, স্থিতিস্থাপকতার নিয়ম অনুসারে ভার ঝুলাইলে আলম্বের কিছুটা

নতি হইবেই, সেই নতি যদি দুইটি ভারের বেলায় সমান হয়, তবে S স্কেল ও V ভার্নিয়ার সমপরিমাণে নামিয়া যায় ও উহাদের আপেক্ষিক অবস্থানের কোন পরিবর্তন হয় না। .

(iii) উভয় টুকরা একই তার হইতে লইবার ফলে তাপমাত্রার পরিবর্তনের ফলে দৈর্ঘ্যের পরিবর্তনের ফল উভয়ের বেলায় সমান হইবে।

(iv) প্রতিটি ওজন চাপাইবার পর কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিতে হয়, করিতে হয়, কারণ তারের দৈর্ঘ্যের পরিবর্তনে কিছুটা সময় লাগে।

13.13. অনুশীলন ঃ

(a) 2 মিটার দীর্ঘ ও 0·5 মিমি ব্যাস বিশিষ্ট একটি তামার তারের প্রান্তে 3 কিলোগ্রাম ওজন ঝুলাইলে উহা দৈর্ঘ্যে 2·38 মিমি বৃদ্ধি পায়। তামার ইয়ং গুণাংক নির্ণয় কর। [Poona 1954]

মনে কর বিকার সাধনকারী বল $=F$

ব্যাসার্ধ $=r$, অতএব প্রস্থচ্ছেদ $=\pi r^2$.

প্রতি একক ক্ষেত্রফলে বিকার-সাধনকারী বল $=\frac{F}{\pi r^2}$

$\therefore$ দৈর্ঘ্য-পীডন $=\frac{F}{\pi r^2}$ ($\therefore$ পীডন ও প্রতি একক ক্ষেত্রফলে বিকার-সাধনকারী বল পরস্পর সমান)।

প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য $=l$

দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন $=x$

$\therefore$ দৈর্ঘ্য-বিকৃতি $=\frac{x}{l}$ ।

$\therefore$ ইয়ং গুণাংক $Y=\frac{\text{দৈর্ঘ্য-পীড়ন}}{\text{দৈর্ঘ্য-বিকৃতি}}=\frac{F/\pi r^2}{x/l}$ ।

আমাদের ক্ষেত্রে, $F=Mg$ ডাইন $=3\times1000\times980$ ডাইন।

$r=\frac{d}{2}=\frac{0\cdot5}{2}$ মিমি. $=0\cdot25$ মিমি. $=0\cdot025$ সেমি.।

$\pi r^2=\pi\ (0\cdot25)^2$ ।

$l=2$ মিটার $=200$ সেমি.

$x=2\cdot38$ মিমি. $=0\cdot238$ সেমি.।

$\therefore\ Y=\frac{F/\pi r^2}{x/l}=\frac{3\times1000\times380/\pi\times(\cdot025)^2}{0\cdot238/200}$ $12\cdot6\times10^{11}$ ডাইন/ব.সেমি.

(b) 1 মিটার দীর্ঘ ও 1 ব. মিমি. প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট একটি ইস্পাতের তারকে 2 কিলোগ্রাম ভার দিয়া প্রসারিত করিলে উহার দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি কত হইবে? ($Y=20\times10^{11}$ ডাইন/ব.সেমি.) [C. U. 1954]

$Y=\frac{F/\pi r^2}{x/l}$ (পূর্বের অংশটি দেখ)।

আমাদের ক্ষেত্রে, $F=2$ কিলোগ্রাম-ওজন

$=2\times1000\times980$ ডাইন

$\pi r^2=1$ ব. মিমি. $=\frac{1}{100}$ ব. সেমি $=0.01$ ব. সেমি।

$l=1$ মিটার $=100$ সেমি।

$x=$?

$Y=20\times10^{11}$ ডাইন/ব. সেমি।

$$\therefore \quad 20\times10^{11}=\frac{2\times1000\times980/0.01}{x/100}$$

$$\therefore \quad \frac{x}{100}=\frac{2\times1000\times980}{0.01}\times\frac{1}{200\times10^{11}}$$

$$\therefore \quad x=\frac{2\times1000\times980}{0.01}\times\frac{1}{20\times10^{11}}\times100$$

$=0.0098$ সেমি. $=0.098$ মিমি।

(c) 628 সেমি. দীর্ঘ ও 2 মিমি. ব্যাস-বিশিষ্ট একটি উল্লম্ব ইস্পাতের তারকে দৈর্ঘ্যে 1 মিমি. প্রসারিত করিতে কত কিলোগ্রাম ভার লাগিবে? (ইস্পাতের ইয়ং গুণাংক $=20\times10^{11}$ C.G.S. একক এবং $g=980$ C.G.S. একক)। [W.B.H.S. 1960]

$Y=\frac{F/\pi r^2}{x/l}$। আমাদের ক্ষেত্রে, $F=$?

$r=\frac{2}{2}$ মিমি $=1$ মিমি $=0.1$ সেমি.।

$\therefore \quad \pi r^2=\pi\times(0.1)^2$ ব. সেমি,

$l=628$ সেমি,

$x=1$ মিমি $=0.1$ সেমি।

$Y=20\times10^{11}$ ডাইন/ব. সেমি.।

$$\therefore \quad 20\times10^{11}=\frac{F/\pi\times(0.1)^2}{0.1/628}$$

$$\therefore \quad F = 20 \times 10^{11} \times \frac{0 \cdot 1}{628} \times \pi \times (0 \cdot 1)^2 \text{ ডাইন}$$

$$= 20 \times 10^{11} \times \frac{0 \cdot 1}{628} \times \frac{\pi \times (0 \cdot 1)^2}{980} \text{ গ্রাম-ওজন}$$

$$= 20 \times 10^{11} \times \frac{0 \cdot 1}{628} \times \frac{\pi \times (0 \cdot 1)^2}{980 \times 1000} \text{ কিলোগ্রাম-ওজন}$$

$$= 10 \cdot 20 \text{ কিলোগ্রাম-ওজন।}$$

(d) 0·4 সেমি· ব্যাসের একটি তারে 25 কিলোগ্রাম-ওজন চাপাইলে উহার দৈর্ঘ্য 100 সেমি. হইতে বাড়িয়া 102 সেমি. হয়। তারের ইয়ং গুণাংক কত? [C. U. 1953]

$$Y = \frac{F/\pi r^2}{x/l} \text{।}$$

$F = 25$ কিলোগ্রাম $= 25 \times 1000 \times 980$ ডাইন।

$\pi r^2 = \pi \times (0 \cdot 2)^2$ ব. সেমি·

$l = 100$ সেমি.

$x = 102 - 100 = 2$ সেমি.

$Y = ?$

$$\therefore \quad Y = \frac{25 \times 1000 \times 980/\pi \times (0 \cdot 2)^2}{2/100} = 9 \cdot 75 \times 10^9 \text{ ডাইন/ ব. সেমি.।}$$

(e) 1 ব. সেমি· প্রস্থচ্ছেদের একটি তারের উপর কত প্রসারক বল প্রয়োগ করিলে উহার দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ হইয়া যাইবে? ($Y = 2 \times 10^{12}$ ডাইন/ ব. সেমি·)। [U. P. Board 1942]

$$Y = \frac{F/\pi r^2}{x/l}$$

$F = ?$

$\pi r^2 = 1$ ব. সেমি.

$x = l$ (দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্যের সমান)।

$$\therefore \quad 2 \times 10^{12} = \frac{F/1}{\frac{l}{l}}$$

$$\therefore \quad F = 2 \times 10^{12} \text{ ডাইন/ব. সেমি.।}$$

(বিঃ দ্রঃ—বলের পরিমান ইয়ং গুণাংকের সমান কারণ এখানে বিকৃতি

একক এবং প্রস্থচ্ছেদ একক। স্বভাবতঃই এত বল প্রয়োগের পূর্বেই তারটি ছিন্ন হইয়া যাইবে)।

(f) একটি পাকানো স্প্রিং (sprial spring) 2 পাউণ্ড ভার প্রয়োগে 2·5 ইঞ্চি প্রসারিত হয়। 1·5 পাউণ্ড ভার দিলে উহার প্রসরণ কত হইবে।

$$Y = \frac{F/\pi r^2}{x/l}$$

উভয় ক্ষেত্রেই, πr^2 এবং l সমান।

$$\therefore \ Y = \frac{F_1/\pi r^2}{x_1/l} = \frac{F_2 \ \pi r^2}{x_2 \ l}$$

$$\therefore \ \frac{F_1}{x_1} = \frac{F_2}{x_2}, \text{ অথবা } \frac{2 \text{ পাউণ্ড}}{2·5 \text{ ইঞ্চি}} = \frac{1·5 \text{ পাউণ্ড}}{x_2 \text{ ইঞ্চি}}$$

$$\therefore x_2 = \frac{1·5 \times 2·5}{2} \text{ ইঞ্চি} = 1·875 \text{ ইঞ্চি}।$$

(g) 600·5 সেমি· দীর্ঘ এবং 1 ব. মিমি. প্রস্থচ্ছেদ-বিশিষ্ট একটি তারের একপ্রান্তে 20 কিলোগ্রাম ওজন ঝুলানো আছে। ওজন সরাইয়া লইলে তারটি দৈর্ঘ্যে 0·5 সেমি· হ্রাস পায়। তারের ইয়ং গুণাংক কত?

[C.U. 1938]

$$Y = \frac{F/\pi r^2}{x/l}$$

ওজন ঝুলাইবার পূর্বে তারটির দৈর্ঘ্য ছিল $l = 600·5 - 0·5 = 600$ সেমি·। ওজন ঝুলাইবার ফলে উহার দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি হইল $x = 0·5$ সেমি·।

$$\therefore \ F = 20 \text{ কিলোগ্রাম} = 20 \times 1000 \times 980 \text{ ডাইন}।$$

$$\pi r^2 = 1 \text{ ব. মিমি.} = \frac{1}{100} \text{ ব. সেমি.} = 0·01 \text{ ব. সেমি.}।$$

$l = 600$ সেমি,

$x = 0·5$ সেমি·।

$$\therefore \ Y = \frac{20 \times 1000 \times 980/0·01}{0·5/600} = 1·352 \times 10^{12} \text{ ডাইন/ব. সেমি.}।$$

(h) 2 মিমি· ব্যাস ও 100 সেমি. একটি তারকে 10 কিলোগ্রাম ভার ঝুলাইয়া দৈর্ঘ্যে 100.1 সেমি. করা যায়। তারটির ইয়ং গুণাংক নির্ণয় কর।

[C.U. 1962]

আমরা জানি, $Y=\frac{F/\pi r^2}{x/l}$

এখানে, $F=mg=10\times1000\times980$ ডাইন,

$l=100$ সেমি., $x=100{\cdot}1-100={\cdot}1$ সেমি.

$r=\frac{{\cdot}2}{2}=$ সেমি., $\therefore$ $\pi r^2=\pi\times{\cdot}1\times{\cdot}1$ ব. সেমি,

$\therefore$ $Y=\frac{F/\pi r^2}{x/l}=\frac{10\times1000\times980/\pi\times.1\times.1}{{\cdot}1/100}$

$=3{\cdot}12\times10^{12}$ ডাইন/ব. সেমি.।

(i) একটি তক্তাকে দুই প্রান্তে ধরিয়া রাখা হইয়াছে। উহার মধ্য-বিন্দুতে 50 পাউণ্ড ভার ঝুলাইলে উহা 2 ইঞ্চি বাঁকিয়া যায়। 75 পা. ভারে উহা কত বাঁকিবে? কত ভারে উহা 3·5 ইঞ্চি বাঁকিবে? [C.U. 1941]

তক্তার বক্রতাই উহার বিকৃতির মাপ দেয়। বিকৃতি পীড়নের অনুপাতিক, আর পীড়ন প্রযুক্ত বলের অনুপাতী।

অতএব, 50 পাউণ্ড ওজন $\propto$ 2 ইঞ্চি।

$\therefore$ 75 পাউণ্ড ওজন $\propto$ 3 ইঞ্চি।

অর্থাৎ 75 পাউণ্ড ওজনে তক্তাটি 3 ইঞ্চি বাঁকিবে।

আবার, 2 ইঞ্চি বক্রতার সৃষ্টি হয় 50 পাউণ্ড ওজনে,

$\therefore$ 3·5 ইঞ্চি বক্রতা সৃষ্টি হয় $\frac{50}{2}\times3{\cdot}5=87{\cdot}5$ পাউণ্ড ওজনে।

(j) সমপ্রস্থচ্ছেদের একটি তারের দৈর্ঘ্য 200 সেমি· ও ভর 20 গ্রাম। উহা হইতে 5 কিলোগ্রাম ওজন ঝুলাইলে উহা দৈর্ঘ্যে 2·4 সেমি. বাড়ে। বাড়ে। ধাতুটির ঘনত্ব 8·8 গ্রাম/সিসি· হইলে উহার ইয়ং গুণাংক কত?

তারটির প্রস্থচ্ছেদ দেওয়া নাই। মনে কর উহা α।

ভর $=$ আয়তন $\times$ ঘনত্ব।

$\therefore$ 20 গ্রাম $=200\alpha\times8{\cdot}8$

$\therefore$ $\alpha=\frac{20}{200\times8{\cdot}8}$ ব. সেমি.।

আবার, $Y=\frac{F/\alpha}{x/l}$

$F=5\times1000\times980$ ডাইন; $\alpha=\frac{20}{200\times8{\cdot}8}$ ব. সেমি.।

$x = 2{\cdot}4$ মিমি.$=$ $\cdot 24$ সেমি. ; $l = 200$ সেমি. ।

$$\therefore \quad Y = \frac{5 \times 1000 \times 980 / \frac{20}{200 \times 8{\cdot}8}}{\cdot 24/200}$$

$= 7{\cdot}19 \times 10^{11}$ ডাইন/ব. সেমি. ।

(k) 10 ফুট দীর্ঘ ও $0{\cdot}125$ ব. ই. প্রস্থচ্ছেদের একটি তার 450 পাউণ্ড ওজনের দ্বারা দৈর্ঘ্যে $0{\cdot}0125$ ইঞ্চি বাড়ে। তারের ইয়ং গুণাংক কত?

তারের দৈর্ঘ্য$=10$ ফু $= 10 \times 12 = 120$ ই. ;

প্রস্থচ্ছেদ $= 0{\cdot}125$ ব. ই. ; বল$=450$ পা. ওজন ;

দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি $= 0{\cdot}0125$ ই. ।

$$\therefore \quad Y = \frac{F/\alpha}{x/l} = \frac{450/0{\cdot}125}{0{\cdot}0125/120} = 3{\cdot}46 \times 10^7 \text{ পাউণ্ড-ওজন/ব. ই. ।}$$

13.14. স্প্রিং তুলা স্থিতিস্থাপক গুণের জন্যই কাজ করে। উহার দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি বলের সমানুপাতী হয় বলিয়া ইহাকে বল বা ওজন মাপিবার কাজে ব্যবহার করা যায়।

13.15. কঠিন, তরল ও বায়বীয় পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা (Elasticities of Solids, Liquids and Gases) ঃ

কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য, আয়তন ও আকার আছে। কাজেই কঠিন পদার্থের ইয়ং গুণাংক, আয়তন গুণাংক এবং দৃঢ়তা গুণাংক তিনই আছে।

তরল বা বায়বীয় পদার্থের নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য বা আকার নাই, অতএব ইহাদের ইয়ং গুণাংক বা দৃঢ়তা গুণাংক বলিয়া কিছু নাই। ইহাদের উভয়েরই আয়তন গুণাংক রহিয়াছে। তরলের আয়তন গুণাংক খুব বেশী। জলকে চাপ দিয়া ইহা তোমরা বুঝিতে পার। গ্যাসের আয়তন গুণাংক তরল অপেক্ষা অনেক কম।

অনেক বিজ্ঞানীর মতে তরল পদার্থের অস্থায়ী দৃঢ়তা গুণাংক রহিয়াছে। তরলের সান্দ্রতা (viscosity) এই অস্থায়ী দৃঢ়তা গুণাংকের জন্যই।

13.16. বয়েলের সূত্র ও গ্যাসের আয়তন গুণাংক ঃ গ্যাসের উপর সামান্য চাপ দিলেই উহার আয়তনের অনেকটা হ্রাস হয়, অর্থাৎ উহার আয়তনের বিকার খুব বেশী হয়, সুতরাং উহার আয়তন গুণাংক খুবই কম। বয়েলের সূত্র হইতে প্রমাণ করা যায় যে উষ্ণতা স্থির থাকিলে গ্যাসের আয়তন গুণাংক উহার চাপের সমান।

স্বাভাবিক বায়ুচাপ $1 \cdot 013 \times 10^6$ ডাইন/ব. সেমি.। সুতরাং বাতাসের K স্বাভাবিক চাপে $1 \cdot 013 \times 10^6$ ডাইন/ব. সেমি.। চাপ বাড়াইলে গুণাংক বাড়ে, অর্থাৎ K-এর মান চাপের পরিবর্তনের সংগে পরিবর্তিত হয়।

13.17. বিভিন্ন কঠিন পদার্থের ইয়ং গুণাংকের সরণী (Young's Modulus for different solids) :

বস্তু	$\times 10^{11}$ $\frac{\text{ডাইন}}{\text{ব.সেমি.}}$	বস্তু	$\times 10^{11}$ $\frac{\text{ডাইন}}{\text{ব.সেমি.}}$
ইস্পাত	19—21	সোনা	8·0
ঢালাই লোহা	11·5	রূপা	7·9
তামা	10—12·8	কাঠ	1—3
পিতল	0·5—11	রবার	0·05
অ্যালুমিনিয়াম	7·0	কাচ	7·9

তাপমাত্রা বৃদ্ধির সহিত ইয়ং গুণাংক হ্রাস পায়।

13.18. বিভিন্ন পদার্থের আয়তন গুণাংকের সরণী (Bulk Modulus for different Substances) :

বস্তু	$\times 10^{11}$ ডাঃ/ব. সেঃ				
ইস্পাত	15—18	পিতল	10·5—11	পারদ	2·6
তামা	11·8—12	কাচ	4·6		
অ্যালুমিনিয়াম	7·5—8·6	জল	0·2		

জলের আয়তন গুণাংক প্রথমে বৃদ্ধি পাইয়া প্রায় 50° সে. তাপমাত্রায় সর্বোচ্চ হয়, তৎপরে কমিতে থাকে।

13.19. রবার্ট হুক (Robert Hooke) : (1635—1703)—অক্সফোর্ডের (ইংলণ্ড) বিজ্ঞানী রবার্ট হুক কিছুদিন রবার্ট বয়েলের কাছে গবেষণায় নিযুক্ত ছিলেন। বলবিদ্যা ও অঙ্কণে অসাধারণ মেধাবী এই বিজ্ঞানীর আলোক-বিজ্ঞান, মহাকর্ষ, স্থিতিস্থাপকতা সম্বন্ধে নানা অবদান রহিয়াছে। ঘড়ির ব্যালান্স চক্র হুকের আবিষ্কার। হুকের চরিত্র অত্যন্ত বিচিত্র ছিল। তিনি সমসাময়িক সমস্ত বিজ্ঞানীর উপর জাতক্রোধ

ছিলেন ; এমন কি নিউটন সম্বন্ধেও তিনি মন্তব্য করেন যে নিউটনের নামে প্রচলিত বিভিন্ন তথ্য প্রকৃত পক্ষে হুকের আবিষ্কার, নিউটন সেগুলি প্রকাশ করেন।

13.20. **টমাস ইয়ং (Thomas Young) :** (1773—1829)—ইংলণ্ডের অধিবাসী ; একাধারে পদার্থবিদ্‌, ভেষজতত্ত্ববিদ্‌, ও পুরাতত্ত্ববিদ্‌ ছিলেন। রয়্যাল ইন্‌ষ্টিটিউশনের পদার্থবিদ্যার অধ্যাপক হিসাবে ইয়ং ভেষজতত্ত্ব (Medicine), মিশরীয় পুরাতন লিপির পাঠোদ্ধার, আলোকের তরংগবাদ, দৃষ্টিশক্তির তথ্যাদি সম্বন্ধে গবেষণা করেন।

প্রশ্নমালা

1. স্থিতিস্থাপকতা কাহাকে বলে ? পূর্ণ স্থিতিস্থাপক, পূর্ণ নমনীয় ও পূর্ণ-দৃঢ় বস্তু বলিতে কি বুঝায় ?

What is Elasticity ? What do you understand by the terms—Perfectly elastic bodies, Perfectly plastic bodies and Perfectly rigid bodies ? (Pre. U. 1961)

2, পীড়ন, বিকৃতি ও স্থিতিস্থাপক গুণাংক কাহাকে বলে ?

হুকের সূত্র বর্ণনা কর। এই সূত্র কি সর্ব-অবস্থায়ই সত্য ?

What do you mean by Stress, Strain, and Modulus of Elasticity ? State Hooke's Law. Is it always true ?

(Pre. U. 1961)

3. পীড়ন, বিকৃতি ও ইয়ং গুণাংকের সংজ্ঞা লিখ, এবং C.G.S. ও F.P.S. পদ্ধতিতে তাহাদের মান নির্দেশ কর।

ছিন্নকারী পীড়ন ও স্থিতিস্থাপক সীমা কাহাকে বলে ?

Define—Stress, Strain and Young's Modulus and express them in C.G.S. and F.P.S. units.

What are breaking stress and elastic limit ?

4. পীড়ন-বিকৃতির চিত্র কাহাকে বলে ? যে কোন বস্তুর জন্য এইরূপ একটি চিত্র আঁক ও উহার পূর্ণ তাৎপর্য বুঝাইয়া দাও।

What is a Stress-Strain diagram ? Draw a stress-strain diagram for any material and clearly explain its full significance.

5. দৈর্ঘ্য-পীড়ন, দৈর্ঘ্য-বিকৃতি, ইয়ং গুণাংক ও আয়তন গুণাংকের সংজ্ঞা লিখ এবং C.G.S. ও F.P.S. পদ্ধতিতে উহাদের সংজ্ঞা নির্দেশ কর। (W.B.H.S. 1960)

কোন তারের ইয়ং গুণাংক নির্ণয় করিবার একটি উপায় বর্ণনা কর।

Define—Longitudinal stress, Longitudinal strain, Young's Modulus and Bulk Modulus of of Elasticity, and express them in C. G. S. and F. P. S. systems.

Describe a method to determine Young's Modulus of a wire.

6. কোন পদার্থের বিকার ঘটাইলে কি কি বিভিন্ন ধরণের পীড়ন ও বিকৃতি হইতে পারে তাহাদের বুঝাইয়া দাও।

একটি 5 মিটার দীর্ঘ তারের বিকৃতির পরিমাণ 0·1% ; উহার দৈর্ঘ্য কতটা বাড়িয়াছে ? তারটির প্রস্থচ্ছেদ 1 ব. মিমি. এবং ঝুলানো ভার 10 কিলোগ্রাম হইলে, উহার পীড়ন কত ?

[5 মিমি. ; $9{\cdot}8\times10^{8}$ ডাইন/ব. সেমি.]

What are the different types of stresses and strains that may be met with when a body is deformed ? Explain them.

What must be the elongation of a wire 5 metre long when the strain is 0·1 of 1% ? If the wire has a cross section of 1 sq. mm. and is stretched by a load of 10 kg, what is the stress ?

7. আয়তন-বিকৃতি, আয়তন-পীড়ন ও আয়তন গুণাংকের সংজ্ঞা লিখ ও ইঞ্জিনীয়ারদের পদ্ধতিতে তাহাদের একক নির্দেশ কর।

একটি পাকানো স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য 100 সেমি.। 16 কিলোগ্রাম ভার চাপাইতে ইহা 0·2 সেমি. বিস্তৃত হয়। দৈর্ঘ্য এবং ভার দুই-ই অর্ধেক হইলে উহার প্রসারণ কতটা হইবে ?

Define Bulk strain, Bulk stress and Bulk Modulus of elasticity and explain them in Engineers' units.

A spiral spring of length 100 cms stretches 0·2 cm when loaded with 16 kg. If both the length and the load are halved, what will be the elongation ? [0·05 সেমি.]

8. ইয়ং গুণাংক, আয়তন গুণাংক এবং দৃঢ়তা গুণাংকের সংজ্ঞা লিখ।

2 মিটার দীর্ঘ ও 0·5 মিমি. ব্যাস বিশিষ্ট একটি তারে 3 কিলোগ্রাম ভার ঝুলাইলে উহার দৈর্ঘ্য কতটা বাড়িবে ? ($Y=12{\cdot}9\times10^{11}$ ডাইন/ব. সেমি.)। [0·232 সেমি.]

Define Young's Modulus, Bulk Modulus and Rigidity Modulus.

How long is a wire of length 2 metres and diameter 0·5mm. stretched when it carries a 3 kgm load ? ($Y=12{\cdot}9\times10^{11}$ dynes /cm^2) (C. U. 1942)

9. 20 ফু. দীর্ঘ ও 0·125 ব.ই. প্রস্থচ্ছেদের একটি তারের প্রান্তে 460 পাউণ্ড ভার ঝুলাইলে উহার দৈর্ঘ্য 0·025 ইঞ্চি বাড়ে। পাউণ্ড-ওজন ও বর্গ ইঞ্চি এককে তারের ইয়ং গুণাংক নির্ণয় কর। [$3{\cdot}53\times10^7$ পা. ওজন/ব.ই.]

When a wire 20 ft long and 0·125 sq in. in cross section is stretched by a load of 460 lbs, it stretches by 0·025 in. Determine Y in "lb-wt and sq-in" unit.

10. তরল ও গ্যাসের ইয়ং গুণাংক আছে কি ? তোমার উত্তরকে ব্যাখ্যা কর।

500 সেমি. দীর্ঘ ও 0·2 সেমি. ব্যাস-বিশিষ্ট একটি তারকে 1·5 সেমি. প্রসারিত করিতে কত ভার প্রয়োজন হয় ? ($Y=21\times10^{11}$ ডাইন/ ব. সেমি.)। [201·86 কিলোগ্রাম]

Do liquids and gases possess Young's Modulus of Elasticity ? Explain your answer.

What load is necessary to stretch a wire 500 cm in length and 0·2 cm in diameter by 1·5 cm. ($Y=21\times10^{11}$ dynes/cm^2)

11. কোনটি বেশী স্থিতিস্থাপক—রবার না ইস্পাত, বুঝাইয়া দাও।

100 সেমি. দীর্ঘ ও 0·4 সেমি. ব্যাস বিশিষ্ট একটি রবারের ফিতাকে 2 সেমি. প্রসারিত করিতে কত ভার লাগে ? ($Y=0{\cdot}5\times10^{10}$ ডাইন/ ব. সেমি.)। [13 কিলোগ্রাম]

Explain which one is more elastic—rubber or steel.

What load is necessary to stretch a rubber cord of 100 cm. length and 0·4 cm. diameter by 2 cm. ? ($Y=0{\cdot}5\times10^{10}$ dyne/cms^2)

12. 100 সেমি. দৈর্ঘ্য ও 4 মিমি ব্যাসের একটি তারকে একটি দৃঢ় আলম্ব হইতে ঝুলানো আছে। তারের অপর প্রান্তে 20 কিলোগ্রাম ভার চাপাইলে তারটির দৈর্ঘ্যের কতটা বৃদ্ধি হইবে ? (ইয়ং গুণাংক$=19{\cdot}6\times10^{11}$ ডাইন/ব. সেমি.)। [0·0079 সেমি.]।

A wire of length 100 cm. and diameter 4mm. is suspended from a rigid support at one end. Find the change in length when a load of 20 kgm-wt. is applied at the other end. ($Y = 19{\cdot}6 \times 10^{11}$ dynes/cm^2). (C. U. 1961)

13. একটি তামার তারের দৈর্ঘ্য 300 সেমি. ও ব্যাস 1 মিমি.। উহাকে 10 কিলোগ্রাম-ওজনের দ্বারা প্রসারিত করিলে উহার দৈর্ঘ্য কতটা বৃদ্ধি পাইবে? ($Y = 1{\cdot}25 \times 10^{12}$ ডাইন/ব. সেমি., $g = 980$ সেমি/ব.সে.)।

[0·3 সেমি.]

Calculate the extension produced in a copper wire of length 300 cm., and diameter 1mm., when stretched by a load of 10 kgm. ($Y = 1{\cdot}25 \times 10^{12}$ dyns/cm^2 and $g = 980$ cm/sec^2).

14. 1 ব. মিমি. প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট একটি ইস্পাতের তারে কত বল প্রয়োগ করিলে উহা দৈর্ঘ্যে দ্বিগুণ হইবে? (মনে কর ইস্পাতের স্থিতিস্থাপক সীমা পার হইতে হইবে না)। ($Y = 2 \times 10^{12}$ ডাইন/ব. সেমি.)।

[2×10^{10} ডাইন]।

What force is required to stretch a steel wire 1 sq. mm. in cross section so that its length is doubled. (Assume that elastic limit is not exceeded). ($Y = 2 \times 10^{12}$ dynes/sq. cm.)

চতুর্দশ পরিচ্ছেদ

ঘর্ষণ

(Friction)

[এই পরিচ্ছেদ বিজ্ঞান-শাখার পাঠ্য সূচীর অন্তর্ভুক্ত নয় কারিগরী শাখার ছাত্র-ছাত্রীদের জন্য ইহা লিখিত হইয়াছে।]

14.1. ঘর্ষণ (Friction) : একটি মার্বেল-গুলি মেঝের উপর গড়াইয়া দিলে চলিতে চলিতে উহা এক সময়ে থামিয়া যায়। মেঝে ও মার্বেল-গুলি, এবং বায়ু ও গুলির মধ্যে ঘর্ষণের ফলে যে বাধা সৃষ্টি হয় তাহাই উহার গতিতে মন্দন আনে।

কোন কঠিন পদার্থের পৃষ্ঠই সম্পূর্ণ মসৃণ নহে, অল্প বিস্তর কর্কশ। এই জন্য একটি কঠিন পদার্থের উপর দিয়া আরেকটি কঠিন পদার্থকে যখন চালাইয়া লইবার প্রয়াস করা হয়, তখন বস্তু দুইটির পৃষ্ঠে গতিতে বাধা সৃষ্টিকারী একটি প্রতিরোধ বলের সৃষ্টি হয়। এই প্রতিরোধ বলই ঘর্ষণ-বল। ঘর্ষণ বস্তু দুইটির পৃষ্ঠের মসৃণতা, বস্তু দুইটির প্রকৃতি, এবং বস্তু দুটির কণাগুলির আকর্ষণের উপর নির্ভর করে।

টেবিলের উপরে অবস্থিত একটি বইকে টানিয়া বা ঠেলিয়া চালাইতে যত সামান্যই হউক কিছু বল প্রয়োগ করা বাধ্যতামূলক। এই বল প্রয়োগ করিতে হয় ঘর্ষণজনিত বলকে জয় করিবার জন্য। টেবিলটি যদি পালিশ করা থাকে, এবং বইটির মলাট খুব মসৃণ থাকে, তবে দেখা যায় যে প্রযুক্ত বলের পরিমাণ অনেক কমানো যায়।

মেঝের উপর বাক্স টানিয়া লইতে যে বল লাগে, মেঝেতে তৈল ঢালিয়া তাহার উপর দিয়া সেই বাক্স টানিয়া লইতে বল লাগে অনেক কম। অতএব ঘর্ষণজনিত প্রতিরোধ কঠিন পদার্থের বেলায় বেশী হয়।

আবার, মনে কর তুমি একটি খালি বাক্স মেঝের উপর দিয়া টানিয়া লইলে, আবার বাক্সের মধ্যে ইঁট ভরিয়া তাহাকে টানিলে। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বল নিশ্চয়ই বেশী লাগিবে, অর্থাৎ বাক্সের ওজন বেশী হইলে ঘর্ষণের বল বেশী হইবে। শুদ্ধ করিয়া বলিলে, বাক্স ও মেঝের মধ্যে যে প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি হইয়াছে, ঘর্ষণজনিত বল সেই প্রতিক্রিয়ার উপর নির্ভর করে।

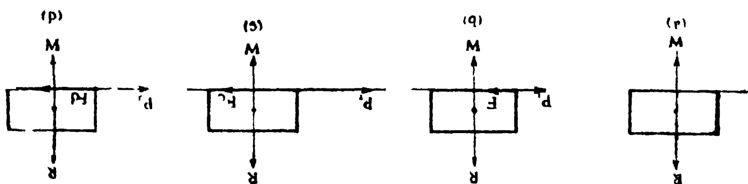
এ-ক্ষেত্রে প্রতিক্রিয়ার পরিমাণ বাক্সের ওজনের সমান এবং অভিমুখ ওজনের বিপরীত।

14.2. **বিভিন্ন প্রকৃতির ঘর্ষণ ঃ** একটি বস্তুর উপর আর একটি বস্তু যখন চলে বা চলিবার উপক্রম করে, তখন গতি কি ধরণের তাহার উপর নির্ভর করিয়া ঘর্ষণের বিভিন্ন নামকরণ হইয়াছে।

যখন একটি বস্তু আর একটি বস্তুর উপর ঘষিয়া চলে, যেমন মেঝের উপর বাক্স বা টেবিলের উপর বই, তখন ঘর্ষণের নাম **চল-ঘর্ষণ** (Sliding Friction) ; যখন একটি বস্তু আর একটির উপর গড়াইয়া চলে, যেমন রাস্তার উপর গাড়ীর চাকা, তখন ঘর্ষণের নাম করণ হইয়াছে **আবর্তন-ঘর্ষণ** (Rolling Friction)। ইহাদের প্রতিটিকে আবার দুই ভাগে ভাগ করা হয়—(i) স্থিত ঘর্ষণ (Static Friction) এবং (ii) গতীয় ঘর্ষণ (Dynamic Friction)।

কোন বস্তুকে আর একটি বস্তুর উপর দিয়া চালাইবার (চলন বা আবর্তন দ্বারা) চেষ্টা করিলে যতক্ষণ পর্যন্ত বস্তুটির গতি আরম্ভ না হয় তাহার পূর্ব পর্যন্ত স্থিত ঘর্ষণ কাজ করে। বস্তুটি চলিতে সুরু করিলে যে ঘর্ষণ হয় তাহাকে গতীয় ঘর্ষণ বলে।

14.3. **ঘর্ষণ-বলের পরিমাণ** **(Amount of frictional force):**



(a) বল প্রয়োগের পূর্বে	(b) বল প্রয়োগ করা হইল, গতি আরম্ভ হয় নাই।	(c) বল-প্রয়োগ করিয়া গতি আরম্ভ হইবার মুহূর্তে।	(d) গতি আরম্ভ হইবার পর। $P_3 < P_2$
	$P_1 = F$	$P_2 \geq F_c$	$F_d < F_c$

14·1

মনে কর একটি ভারী বস্তু একটি অনুভূমিক টেবিলের উপর বসানো আছে। বস্তুটির ওজন W বস্তুটির ভরকেন্দ্র দিয়া উল্লম্ব রেখায় নীচের দিকে

ক্রিয়া করিতেছে। টেবিল বস্তুটির উপর উপরদিকে সমপরিমাণ প্রতিক্রিয়া R দিতেছে। R ও W একই রেখায় ক্রিয়া করে [চিত্র নং 14·1 (a)]।

এইবার বস্তুটিকে P_1 বল দিয়া টানিতে আরম্ভ করা হইল। তখন বস্তুটি ও টেবিলের সাধারণ পৃষ্ঠে ঘর্ষণ-বল F ক্রিয়া করিবে এবং P_1-কে সাম্যে রাখিবে, কাজেই বস্তুটি চলিবে না [চিত্র নং 14·1. (b)]। আকর্ষণী বলকে বাড়াইতে থাকিলে ঘর্ষণ-বলও বাড়িতে থাকিবে। কিন্তু অবশেষে এক সময়ে বস্তুটি চলিতে আরম্ভ করিবে। চলনের ঠিক পূর্বমুহূর্তে আকর্ষণী বল P_2 ঘর্ষণ-বল F_c-এর সামান্য বেশী হইবে। [চিত্র নং 14·1. (c)]।

বস্তুটি চলিতে আরম্ভ করিলে দেখা যাইবে যে উহাকে চলন্ত রাখিবার জন্য যে বল P_3-এর দরকার হইবে তাহা P_2 অপেক্ষা কিছু কম। সুতরাং চলমান অবস্থায় ঘর্ষণ-বল F_d (যাহা P_3-এর সমান) নিশ্চয় চলনের ঠিক পূর্ব মুহূর্তে ঘর্ষণ-বল F_c অপেক্ষা কম।

F_c-কে স্থিত ঘর্ষণের সর্বোচ্চ মান (Limiting value of sliding friction) বলা হয়। F_d হইল গতীয় ঘর্ষণের বল (এ ক্ষেত্রে চল-ঘর্ষণের বল—force of dynamic or sliding friction)।

এই পরীক্ষার ফলগুলিকে সংক্ষেপে নিম্নলিখিত ভাবে লেখা যায়—

(i) ঘর্ষণ বল আকর্ষণী বল বৃদ্ধির সংগে সংগে শূন্য হইতে বৃদ্ধি পাইতে থাকে এবং একটি সর্বোচ্চ মানে পৌঁছায়। গতি যতক্ষণ না আরম্ভ হয়, ঘর্ষণ-বলের পরিমাণ ঠিক সেইটুকুই হয় যাহা আকর্ষণী বলকে সাম্যে রাখিয়া গতিকে রুদ্ধ রাখে।

(ii) যে তলে গতি হইতেছে সেই তলেই ঘর্ষণ হয়, এবং ঘর্ষণের অভিমুখ সর্বদা যে দিকে গতি হয় বা গতির উপক্রম হয় তাহার বিপরীত হয়।

(iii) গতির পূর্বমুহূর্তে ঘর্ষণ-বলের মান সর্বোচ্চ হয়। এই মানকে স্থিত ঘর্ষণের সর্বোচ্চ মান বলে, এবং এই অবস্থায় যে সাম্য থাকে, তাহাকে সাম্য-সীমা (Limiting Equilibrium) বলে।

(iv) গতি আরম্ভ হইলে ঘর্ষণ-বল সর্বোচ্চ মান হইতে সামান্য কমিয়া যায়। এই মানকে গতীয় ঘর্ষণের বল বলা হয়।

14.4. ঘর্ষণের সূত্রাবলী (Laws of Friction) : ফরাসী বিজ্ঞানী মোরাঁ (A. T. Morin) দুইটি কঠিন ও শুষ্ক বস্তুর পৃষ্ঠের মধ্যে ঘর্ষণের পরীক্ষার ফলগুলিকে কতকগুলি সূত্রে প্রকাশ করেন। সূত্রগুলি নিম্নরূপ—

(i) নির্দিষ্ট দুইটি পৃষ্ঠের মধ্যে স্থিত ঘর্ষণের সর্বোচ্চ মান **পৃষ্ঠ-দুইটির** সংযোগ-তলের সহিত লম্ব প্রতিক্রিয়ার সমানুপাতিক।

স্থিত ঘর্ষণের সর্বোচ্চ মান যদি F_0 হয় ও প্রতিক্রিয়ার পরিমাণ যদি R হয়, তবে $F_0=\mu R$; μ একটি ধ্রুবক। ইহাকে পৃষ্ঠ দুইটির মধ্যে **স্থিত ঘর্ষণের গুণাংক** (Co-efficient of static friction) বলে।

(ii) দুইটি বস্তুর মধ্যে ঘর্ষণের সর্বোচ্চ মান (a) বস্তু দুইটির প্রকৃতির উপর (যেমন কাঠ, লৌহ, চামড়া, সিমেন্ট) এবং (b) পৃষ্ঠের অবস্থার উপর (মসৃণতা বা কর্কশতার পরিমাণ) নির্ভর করে। ইহা সংযোগ-তলের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে না।

(iii) গতি আরম্ভ হইলে গতীয় ঘর্ষণের বল লম্ব প্রতিক্রিয়ার সহিত অনুপাতিক হয়। গতীয় ঘর্ষণের বল যদি F_d হয়, তবে

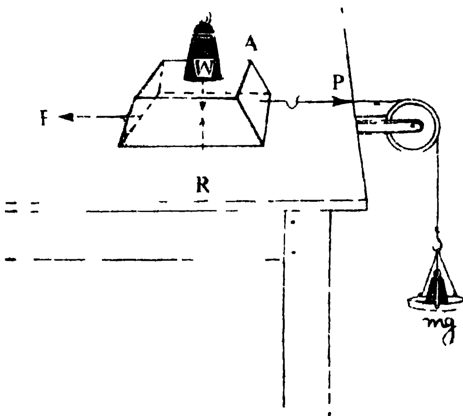
$$F_d=\lambda . R.$$

λ একটি ধ্রুবক, ইহাকে গতীয় ঘর্ষণের গুণাংক (**Co-efficient of dynamic or sliding friction** বলে)।

(iv) গতীয় ঘর্ষণের বল গতির পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। ব্যবহারিক জীবনে গতীয় ঘর্ষণই বেশী পরিলক্ষিত হয়।

14.5. ঘর্ষণ-গুণাংকের মান নির্ণয় (অনুভূমিক তল পদ্ধতি) :

স্থিত ঘর্ষণ-গুণাংক : একটি কাঠের টেবিলের উপর পরীক্ষাধীন কাঠের টুকরা A-কে বসানো হইয়াছে। পুলী ও সুতার সাহায্যে ওজন ঝুলাইয়া A-কে টানা যায়। A-এর উপর কম-বেশী ভার চাপাইয়া উহার মোট ওজন W-কে বাড়ানো কমানো যায়।



14·2

অনুভূমিক তল পদ্ধতিতে ঘর্ষণ-গুণাংক নির্ণয়

প্রতিক্রিয়া R-এর পরিমাণ W-এর সমান হয়।

তুলাপাত্রের উপর ওজন চাপাইয়া এমন অবস্থায় আনা হয় যে A চলিতে আরম্ভ করে। এই

ওজন নীচের উপায়ে ঠিক করা হয়। ওজন চাপাইতে চাপাইতে যখন A চলিতে উদ্যত হয় বলিয়া মনে হয় তখন তুলাপাত্রের ওজন আর না বাড়াইয়া A টুকরাকে সামান্য টোকা দিয়া দেখা হয় উহা চলে কিনা। উহা না চলিলে তুলাপাত্রের উপর আর একটু ওজন বাড়ানো হয়। এইভাবে এমন ওজন চাপানো হয় যে টুকরাটি টোকা পাইলেই চলিতে সুরু করে।

এখন ঘর্ষণ বল $=F_c=\mu R$। আবার $F_c=mg$ (mg=তুলাপাত্রের নিজের ওজন+উহার উপরে চাপানো ওজন)।

$$\therefore \quad \mu=\frac{mg}{R}\ ।$$

কাঠের টুকরার উপর অন্য এবং চাপানো মোট ওজনকে W' ধরা হয়। অতএব প্রতিক্রিয়া $R'=W'$। এখন তুলাপাত্রের দ্বারা প্রদত্ত ওজন $=m'g$ হইলে, $\mu=\frac{m'g}{R'}$

এইভাবে বিভিন্ন ওজনের জন্য μ-এর মান নির্ণয় করিয়া উহাদের গড় লওয়া হয়।

গতীয় ঘর্ষণ-গুণাংক ঃ তুলাপাত্রের ওজন এমন করা হয় যে A-কে ঠেলিয়া কিছুদূর গতি দিয়া দিলে উহা সেই গতিতেই চলিতে থাকিবে, উহার ত্বরণ বা মন্দন হইবে না।

এই অবস্থায় তুলাপাত্রের মোট ওজন যদি m_1g হয়,

$$\text{তবে } F_d=\lambda R=\lambda W$$

$$\text{আবার } F_d=m_1g$$

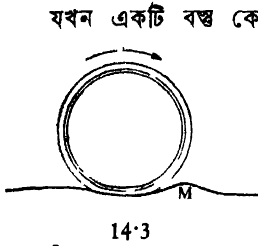
$$\therefore \quad \lambda=\frac{m_1g}{W}\ ।$$

A-এর ওজন পরিবর্তন করিয়া ও তুলাপাত্রে প্রয়োজনীয় ওজন চাপাইয়া λ-এর কতকগুলি মান লওয়া হয় ও তাহাদের গড় নির্ণয় করা হয়।

14 6 আবর্তন-ঘর্ষণ (Rolling Friction) ঃ

পূর্বেই বলা হইয়াছে, যখন একটি বস্তু একটি তলের উপর গড়াইয়া চলে, তখনও স্থিত ও গতীয় ঘর্ষণের উদ্ভব হয়।

যখন একটি বস্তু কোন তলের উপর গড়াইয়া চলে তখন যেখানে সংযোগ হইয়াছে সেখানে দুইটি বস্তুই সামান্য অবনত হয় (depressed) এবং ফলে চলমান বস্তুর সামনে তলের পৃষ্ঠ সামান্য উঁচু হইয়া যেন একটি ছোট টিলার (M) মত সৃষ্টি করে (চিত্র নং 14·3)। আবর্তন-ঘর্ষণ প্রধানতঃ ধারক তলটির এই অবস্থার ফল স্বরূপ হয়।



14·3

আবর্তন-ঘর্ষণের নিয়মাবলী ভাল মত জানা নাই। তবে এখানে স্থিত ঘর্ষণের পরিমাণ চল-ঘর্ষণের বেলায় স্থিত ঘর্ষণের অপেক্ষা কম হয়, আবার গতীয় ঘর্ষণও চল-ঘর্ষণের বেলায় যে গতীয় ঘর্ষণ তদপেক্ষা কম হয়।

একটি বাক্সকে মাটিতে টানিয়া লইতে যত পরিশ্রম হয়, একটা গাড়ীর উপর বসাইয়া টানিতে তদপেক্ষা অনেক কম পরিশ্রম হয়।

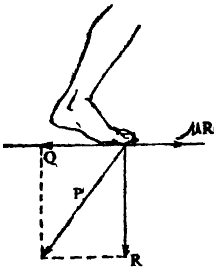
এই জন্যই যেখানে সম্ভব চল-ঘর্ষণকে আবর্তন-ঘর্ষণে পরিণত করা হয়। গাড়ীতে চাকা লাগানো, বল-বেয়ারিং-এর ব্যবহার ইহার উদাহরণ।

আবর্তনকারী চক্রের ব্যাস বাড়াইলে ঘর্ষণের বল কমিয়া যায়।

14.7. ঘর্ষণের উপযোগিতা :

ঘর্ষণ গতিতে বাধা সৃষ্টি করে। অনেক ক্ষেত্রেই ইহা বিশেষ কাজে লাগে।

(i) ঘর্ষণ না থাকিলে আমরা চলিতে পারিতাম না :



14·4

পায়ের সাহায্যে আমরা মাটির উপর একটি বল P প্রয়োগ করি। এই বলের অনুভূমিক উপাংশ হয় Q। যদি ঘর্ষণ-বল μR (সর্বোচ্চ মান ধরা যায়) অপেক্ষা Q বড় হইত তবে পা পিছলাইয়া যাইত এবং আমরা হাঁটিতে গেলে পিছলাইয়া পড়িতাম।

ঘর্ষণ-বল μR যদি শূন্য হইত তবে হাঁটা সম্ভব হইত না।

এই জন্যই বরফের উপর দ্রুত হাঁটা যায় না। দ্রুত হাঁটিতে গেলে Q-এর মান বাড়িয়া গিয়া μR অপেক্ষা বেশী হইয়া যায়।

(ii) ঘর্ষণের জন্যই গাড়ী চলে। ঘর্ষণ না থাকিলে গাড়ীর চাকা

পিছলাইয়া লইত ও গাড়ী এক স্থানেই থাকিত। ঘর্ষণ-বল বাড়াইবার জন্যই মোটরের চাকায় নানারূপ কারুকার্য করা হয় ও চাকার উপরিতল যতদূর সম্ভব অমসৃণ করা হয়। বন্যার সময়ে জল-সিক্ত রেল লাইনের উপর বালু বা ছাই ফেলিয়া চাকার ঘর্ষণকে বাড়ানো হয়।

(iii) কারখানায় বেল্টের সাহায্যে চাকা ঘুরাইবার সময়ে বেল্ট ও চাকার ঘর্ষণের সাহায্য লওয়া হয়। এই জন্যই বেল্টকে অমসৃণ করা হয়।



14 5

(iv) কাঠে বা দেওয়ালে পেরেক বসিয়া থাকে ঘর্ষণের জন্যই। ঘর্ষণ না থাকিলে একটু টানিলেই পেরেক খুলিয়া আসিত।

(v) দেওয়ালে মই বসে ঘর্ষণের জন্যই। ঘর্ষণ না থাকিলে মই মেঝের উপর পিছলাইয়া পড়িয়া যাইত।

14 8. **ঘর্ষণের অপকারিতা :** ঘর্ষণ গতিরোধ করে, কাজেই ঘর্ষণে গতির মন্দন হয় ও গতিকে বজায় রাখিবার জন্য শক্তি ব্যয় করিতে হয়। ঘর্ষণে যে শক্তি ব্যয় হয় তাহা তাপ হিসাবে উদ্ভূত হয়; এই তাপ অনেক সময়ে অনিষ্টকারক হইয়া ওঠে। ঘূর্ণন-যন্ত্রে ঘর্ষণে বস্তুর ক্ষয়প্রাপ্তি ঘটে। বেয়ারিং-এ ঘর্ষণ কমাইবার জন্য স্লীভ-বেয়ারিং-এর (Sleeve-bearing) পরিবর্তে বল-বেয়ারিং (Ball-bearing) ব্যবহার করা হয়।

14.9. **ঘর্ষণ কমাইবার উপায় :** ঘূর্ণন-যন্ত্রে বল-বেয়ারিং এর ব্যবহার ঘর্ষণকে কমাইয়া দেয় এ-কথা পূর্বেই বলা হইয়াছে।

স্নেহক (lubricants) দ্বারাও ঘর্ষণ কমানো যায়।

কুলঁ'র নীতি অনুযায়ী দুইটি পৃষ্ঠের মধ্যে ঘর্ষণের অন্যতম কারণ পৃষ্ঠ দুইটির অমসৃণতা ও সেজন্য উঁচু-নীচু বিভিন্ন বিন্দুর পরস্পর আটকাইয়া যাওয়া।

দুইটি পৃষ্ঠের মধ্যে যদি আমরা এমন কোন বস্তুর লেপ দিই যাহাতে পৃষ্ঠ দুটির মধ্যে খানিকটা দূরত্বের সৃষ্টি হইয়া উহারা আর পরস্পরের সংস্পর্শে আসে না, তখন উহাদের উঁচু-নীচু বিন্দুগুলি আর পরস্পরকে আটকায় না। এইরূপ পদার্থকে স্নেহক বলে। প্রয়োজনানুসারে স্নেহক তৈলজাতীয় পদার্থ বা সুমসৃণ গুঁড়া হইতে পারে। চর্বি জাতীয় বা পেট্রোলিয়ামজাত ঘন তৈল, কলয়ড্যাল গ্রাফাইট প্রভৃতি পদার্থ স্নেহক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

প্রশ্নমালা

1. ঘর্ষণ কি ? ইহা কোথায় কি ভাবে কাজ করে ?

What is friction ? How and where does it work ?

2. স্থিত ঘর্ষণ ও গতীয় ঘর্ষণ কি ? ঘর্ষণের গুণাংক কাহাদের বলে ? ইহাদের সংজ্ঞা লিখ।

What are static and dynamic frictions ? What do you mean by the co-efficients of friction ? Define them.

3. কোন ব্যক্তি দড়ি দিয়া বাঁধা একটি ওজনকে ঝুলাইয়া রাখিয়াছে। ওজনটি 5 পাউণ্ড ও আঙুলে যে বল প্রযুক্ত হইয়াছে তাহার পরিমাণ 8 পাউণ্ড। ওজনটি আর সামান্য বাড়াইলেই দড়িটি পিছলাইয়া পড়িয়া যায়। হাত ও দড়ির মধ্যে স্থিত ঘর্ষণ গুণাংক কত ? (0·625)

A man supports a 5 lb load by a string held in his hand. The force applied between the string and the fingers is 8 lbs. On slightly increasing the load, the string slips down the fingers. Calculate the co-efficient of static friction between the string and the fingers.

4. ঘর্ষণের প্রকৃতি কি ? দুইটি কঠিন বস্তুর মধ্যে ঘর্ষণের পরীক্ষা করিয়া সাধারণ ভাবে কি কি সত্য জানিতে পার ?

Discuss the nature of friction ? Discuss in general terms the facts that can be observed by performance of an experiment on friction between two solid bodies.

5. ঘর্ষণের সূত্রগুলি বর্ণনা কর ও ঘর্ষণ-গুণাংক নির্ণয়ের কোন পরীক্ষা লিখ।

Explain the laws of friction ; and describe an experiment to determine the co-efficients of friction.

6. 50 কিলোগ্রাম ওজনের একটি বাক্সকে মেঝের উপর দিয়া টানিয়া লইতে হইবে। মেঝে ও বাক্সের মধ্যে স্থিত ও গতীয় ঘর্ষণ-গুণাংক যথাক্রমে 0·42 এবং 0·40 হইলে, (i) বাক্সটি নড়াইতে হইলে এবং (ii) বাক্সটিকে সচল রাখিতে হইলে কত বল প্রয়োগ করিতে হইবে ? [21 এবং 20 কিলোগ্রাম ওজন]

A box weighing 50 kgm is to be dragged along the floor. If the coefficients of static and dynamic frictions between the

floor and the box be 0·42 and 0·40 respectively, calculate the forces required to (i) move the box and (ii) to keep it moving.

7. কারণ বুঝাইয়া ব্যাখ্যা কর :—

(i) বরফের উপর দিয়া তাড়াতাড়ি চলা যায় না ;

(ii) বৃষ্টির পরে পিচের রাস্তায় গাড়ী বেশী জোরে চলে না ;

(iii) বেশী মসৃণ বা বেশী অমসৃণ কাগজের উপরে লেখা শক্ত ;

(iv) ঘর্ষণ না থাকিলে দেওয়ালে পেরেক আটা যাইত না ;

(v) ঝুলানো পাখা ঘর্ষণ না থাকিলে ব্যবহার করা যাইত না।

Explain why :—

(i) One cannot walk swiftly on ice ;

(ii) Cars cannot move quickly over asphalt roads after a shower ;

(iii) It is difficult to write upon over-glazed or unglazed paper ;

(iv) Nails could not be fixed on wails if there was no friction ;

(v) It would not have been possible to use ceiling fans if frictions were absent.

8. ঘর্ষণের উপযোগিতা সম্বন্ধে তিনটি উদাহরণ ব্যাখ্যা কর।

Discuss three cases of use of friction.

9. ঘর্ষণের অপকারিতা কি ? ঘর্ষণ কমাইবার উপায় সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা কর।

What are the disadvantages of friction ? Discuss briefly what you know about methods of diminishing frictional resistances.

10. মাটির উপর দিয়া কোন কঠিন বস্তুকে টানিয়া লওয়া অপেক্ষা চাকার উপর বসাইয়া টানিতে কম শ্রম হয় কেন ?

Why is it easier to carry a body on wheels than to drag it along the ground ?

তাপবিদ্যা

নবম পরিচ্ছেদ

তাপ ও শক্তি

(Heat and Energy)

9.1. তাপ সম্বন্ধে প্রাচীন ধারণা (Early ideas about heat) :

তোমরা বাল্যকাল হইতেই শুনিয়া আসিয়াছ যে, তাপ শক্তির একটি বিশেষ রূপ মাত্র। পৃথিবী সূর্যের চারিদিকে আবর্তন করে, কিংবা ভূ-পৃষ্ঠে অবস্থিত সমস্ত বস্তুই পৃথিবীর দ্বারা আকৃষ্ট হইতেছে, এই ধরণের সত্য যেমন আজকাল এত পরিচিত যে ইহাদের প্রমাণের প্রয়োজন বিশেষ অনুভূত হয় না, তেমন তাপ যে শক্তি এই সত্যও আজকাল অতিশয় সুপরিচিত।

কিন্তু, আশ্চর্য এই যে এই সত্যকে প্রতিষ্ঠা করিবার জন্য বহু বিজ্ঞানী পরিশ্রম করিয়াছেন, এবং ঊনবিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগ পর্যন্ত এই সত্য সুপ্রতিষ্ঠিত হয় নাই।

কাঠের সহিত কাঠের ঘর্ষণে আগুন জ্বালাইতে শিখিবার পর মানুষের ধারণা হইল যে কোন দয়ালু দেবতা কাঠে আগুন ঢুকাইয়া রাখেন।

বিজ্ঞানের যুগে পদার্পণ করিবার পর, অতীতকালের বিজ্ঞানীরা যখন দেখিলেন যে, তপ্ত বস্তু হইতে তাপ শীতল বস্তুতে প্রবাহিত হয়, তখন তাঁহারা ইহাকে জল বা বাতাসের মত একটি সরিল (fluid) বলিয়া ধারণা লইলেন, ইহার নাম হইল ক্যালরিক (Caloric)। তাপের প্রবাহে যেহেতু ওজনের হ্রাস বৃদ্ধি হয় না, অতএব এই সরিলকে ওজন-বিহীন বলিয়া ধরা হইল। তা-ছাড়া, ইহাতে আরও কয়েকটি গুণ আরোপ করা হইল, যেমন ইহা পূর্ণ-স্থিতিস্থাপক, সর্বত্র গমনে বা সবকিছু ভেদে সক্ষম (all-pervading); ইহা অব্যয় (indestructible) এবং অনাদি, অর্থাৎ কোন ভাবে ইহাকে সৃষ্টি করা যায় না।

তাপবিদ্যার বিভিন্ন তথ্যকে ক্যালরিক দ্বারা ব্যাখ্যা করা হইত। উত্তপ্ত

বস্তু তাপ দেয়, কারণ ক্যালরিকের কণাগুলি পরস্পরের বিকর্ষণে বাহির হইয়া আসে ; মার্বেলের আপেক্ষিক তাপ তামা অপেক্ষা বেশী, কারণ ক্যালরিকের উপর মার্বেলের আকর্ষণী শক্তি বেশী ; তাপ দিলে পদার্থের প্রসারণ হয়, কারণ ক্যালরিকের কণাগুলির বিকর্ষণ বস্তুটির আয়তন বৃদ্ধি করিতে প্রচেষ্টা পায়। লীন তাপ বস্তুটির সহিত সংযুক্ত হইয়া নূতন বস্তুর সৃষ্টি করে যেমন বরফ + লীন তাপ = জল।

কিন্তু আঘাতে বা ঘর্ষণে তাপের উৎপত্তির ব্যাখ্যা এত সহজ ছিল না। বলা হইত যে সীসাকে হাতুড়ি দিয়া পিটিলে তাপের উদ্ভব হয় কারণ হাতুড়ীর আঘাতের চাপে ভিতরকার ক্যালরিক বাহির হইয়া আসে, ঠিক যেমন ভিজা ন্যাকড়াকে চাপ দিলে জল বাহির হয়। দুইটি বস্তুর ঘর্ষণে তাপের উৎপত্তির ব্যাখ্যা ছিল আরও অদ্ভুত। বলা হইত, ইহার কারণ এই যে ঘর্ষণে বস্তুদুটির উপরের পৃষ্ঠের কণাগুলি ক্ষয় হইয়া যাওয়ায় তাহাদের ভিতরের ক্যালরিক আলগা হইয়া বাহিরে প্রকাশ পায়। আরও মজার কথা এই যে, বস্তুদুটির ঘর্ষণে যে গুঁড়ার উৎপত্তি হয়, বলা হইত যে তাহাদের ক্যালরিক কমিয়া যাওয়ায় তাহাদের আপেক্ষিক তাপ কম হইবে। অর্থাৎ, মনে কর দুইটি পাথরের টুকরা ঘষিলে যে পাথরের গুঁড়া পাওয়া যায় তাহাদের ক্যালরিক পাথরের টুকরাদুটির গায়ে লাগিয়া থাকায় ঐ গুঁড়ার আপেক্ষিক তাপ কম হইবে! আজ ঐ সব তোমাদের কাছে হাস্যকর মনে হইবে, কিন্তু তখন বড় বড় বিজ্ঞানীও ইহা বিশ্বাস করিতেন।

রামফোর্ড ১৭৯৮ খ্রীষ্টাব্দে প্রথম ক্যালরিক-বাদের মূলে আঘাত করিলেন। এই আমেরিকান বিজ্ঞানী ব্যাভেরিয়ার রাজদরবারে উচ্চপদস্থ কর্মচারী ছিলেন। তখন কামান তৈয়ারী হইত একটি পিতলের নিরেট চোঙের ভিতরটা কোঁদাই যন্ত্রের (boring instrument) সাহায্যে কুঁদিয়া। রামফোর্ড একটি ভোঁতা যন্ত্রের সাহায্যে কামান কোঁদাই করিয়া দেখাইলেন যে যদিও এই সময়ে বিপুল পরিমাণ তাপের উদ্ভব হয়, তবুও পিতলের গুঁড়াগুলির আপেক্ষিক তাপ কমিয়া যায় না। তাহা ছাড়া তিনি আরও দেখাইলেন যে তাপ কতটা উৎপত্তি হইল তাহা পিতলের গুঁড়ার ওজনের উপর নির্ভর করে না, অর্থাৎ বেশী পিতল গুঁড়া হইলে যে বেশী তাপ পাওয়া যায়, তাহা নয়। উহা নির্ভর করে কোঁদাই করিবার জন্য কতটা শক্তি ব্যয়িত হয় তাহার উপর।

1799 খ্রীষ্টাব্দে **হামফ্রে ডেভী** দুই টুকরা বরফ ঘষিয়া দেখাইলেন যে, বরফ দুইটির যে পৃষ্ঠে ঘর্ষণ হইতেছে সেই পৃষ্ঠে জলের সৃষ্টি হইতেছে। এখন, ইহা সকলেই জানিতেন যে বরফের জলে পরিণত হইতে অনেকটা লীন তাপ লাগে। স্বভাবতঃই প্রশ্ন উঠিল এই লীন তাপ কোথা হইতে পাওয়া গেল। দ্বিতীয়তঃ জলের আপেক্ষিক তাপ বরফের প্রায় দ্বিগুণ। সুতরাং জল এতটা তাপ কোথা হইতে পাইল? ক্যালরিক-বাদে ইহার ব্যাখ্যা পাওয়া গেল না, কারণ বরফ দুইটি হইতে এই বাড়তি ক্যালরিক জলের মধ্য আসিলে স্বভাবতঃই টুকরাদুটির তাপমাত্রা 0° সে. হইতে কমিয়া যাইত, কিন্তু তাহা হয় নাই।

(অনেক বিজ্ঞানী **ডেভীর** পরীক্ষার সত্যতা সম্বন্ধে সন্দেহ প্রকাশ করেন কারণ 1799 খ্রীষ্টাব্দে **ডেভীর** বয়স ছিল মাত্র ১৯ বৎসর)।

কিন্তু বিস্ময়ের বিষয় এই যে, রামফোর্ড ও ডেভীর পরীক্ষার কথা শীঘ্রই লোকে ভুলিয়া গেল। ক্যালরিক-বাদ আরও প্রায় অর্ধশত বৎসব সসম্মানে চালু রহিল। অবশেষে 1842 খ্রীষ্টাব্দে **মেয়ার** ও প্রায় একই সময়ে **জুল, কোল্ডিং**, প্রভৃতি তাহাদের পরীক্ষার দ্বারা চূড়ান্তভাবে প্রমাণ করিলেন যে ক্যালরিক-বাদ সত্য নহে, তাপ আসলে শক্তির একটি রূপ।

9.2. তাপ কি? (What is heat?)—সমস্ত বস্তুই অনেক কণার সমষ্টি মাত্র, ইহা তোমরা শুনিযাছ। বিজ্ঞানীরা প্রমাণ করিয়াছেন যে, বস্তু-কণাগুলি সর্বদাই কাঁপিতেছে। গ্যাসে এই কম্পন এত প্রবল হয় যে কণাগুলি তীব্র বেগে ইতস্ততঃ ছোটাছুটি করিতে থাকে। সেইজন্যই একটি গ্যাস-জারের মুখ খুলিয়া দিলে গ্যাস উড়িয়া যায়। এই কণাগুলির যখন কম্পন বা গতি রহিয়াছে তখন স্বভাবতঃই ইহাদের গতি-শক্তি রহিয়াছে। তাপ বস্তুকণার গতিশক্তির রূপ। কোন বস্তুকে উত্তপ্ত করিবার অর্থ উহার কণাগুলির গতি বাড়াইয়া দেওয়া।

9.3. তাপশক্তি ও যান্ত্রিক কাজ (Heat and Mechanical Work): তাপ যেহেতু বস্তুকণার গতিশক্তির প্রকাশ মাত্র, সুতরাং বস্তুতে যান্ত্রিক শক্তি সঞ্চারিত করিয়া তাপ সৃষ্টি করা সম্ভব। সেইজন্যই হাতুড়ী দিয়া কোন জিনিসকে পিটাইলে তাপের উদ্ভব হয়, কিংবা দুইটি জিনিস ঘষিলেও তাপ সৃষ্টি হয়।

আবার, অন্য দিকে বাষ্পের তাপ-শক্তি হইতে যান্ত্রিক শক্তি পাইয়া ষ্টীম এঞ্জিন, পেট্রোলের তাপ-শক্তি হইতে মোটর গাড়ী চলে।

সাইকেলের পাম্প চালাইবার সময়ে উহা গরম হইয়া উঠে। এই তাপের উদ্ভব হয় দুই কারণে—(i) পিষ্টন ও পাম্পের চোঙের ঘর্ষণে, এবং (ii) প্রধানতঃ পিষ্টনের ধাক্কায় ভিতরের বাতাসের অণুগুলির গতিবৃদ্ধির ফলে।

আকাশ হইতে উল্কাপাত তোমরা দেখিয়া থাকিবে। উল্কা হইল মহাশূন্যে ধাবমান মৃত শীতল জড়পিণ্ড। পৃথিবীর আকর্ষণে ইহা ভূপৃষ্ঠে পড়ে। পড়িবার সময়ে উল্কা যখন বায়ুমণ্ডলে প্রবেশ করে তখন বাতাসের ঘর্ষণে উহা এত উত্তপ্ত হইয়া ওঠে যে জ্বলিতে থাকে।

তাপ ও যান্ত্রিক শক্তি একে অন্যে যখন রূপান্তরিত হইতে পারে তখন স্বভাবতঃই তাপশক্তি ও যান্ত্রিক শক্তির মধ্যে কোন সম্পর্ক রহিয়াছে।

ডাঃ জুল দীর্ঘ ৫-৬ বৎসর গবেষণার পরে উভয়ের তুল্যতা সম্বন্ধে নিশ্চিন্ত হন। 1843 খ্রীষ্টাব্দে তিনি ঘোষণা করেন যে, "তাপকে যান্ত্রিক শক্তিতে বা যান্ত্রিক শক্তিকে তাপে সম্পূর্ণ ভাবে রূপান্তরিত করিলে ঐ উত্তাপ ও যান্ত্রিক শক্তি পরস্পরের তুল্য (equivalent) হইবে।"

এই নীতির বৈজ্ঞানিক মূল্য অত্যন্ত বেশী। এই নীতির উপর ভিত্তি করিয়াই ষ্টীম এঞ্জিন বা অন্য তাপীয় এঞ্জিনের কার্য ব্যাখ্যা করা যায়। এই নীতিকে তাপগতিশাস্ত্রের প্রথম সূত্র (First law of thermodynamics) বলা হয়।

9.4. তাপের কার্য-তুল্যাংক (Mechanical Equivalent of Heat): তাপ যখন সম্পূর্ণভাবে যান্ত্রিক শক্তিতে কিংবা যান্ত্রিক শক্তি তাপে রূপান্তরিত হয়, তখন যে পরিমাণ যান্ত্রিক কার্য একক পরিমাণ তাপের সমতুল্য হয় তাহাকে তাপের কার্য-তুল্যাংক (Mechanical Equivalent of Heat) বলে। তাপের কার্য-তুল্যাংককে সাধারণতঃ J দ্বারা নির্দেশ করা হয়। যদি W পরিমাণ কার্য ব্যয়ে H পরিমাণ তাপ উদ্ভূত হয়, তবে তবে $J=\frac{W}{H}$, কিংবা $W=J.H.$। C. G. S. পদ্ধতিতে $4{\cdot}186\times10^7$ আর্গ বা 4·186 জুল কার্য তাপে রূপান্তরিত হইয়া 1 ক্যালরি তাপ উৎপাদন করে, সুতরাং C. G. S. পদ্ধতিতে তাপের কার্য-তুল্যাংক প্রতি ক্যালরিতে $4{\cdot}186\times10^7$ আর্গ।

F. P. S. পদ্ধতিতে 778 ফুট-পাউণ্ড কার্য করিলে 1 ব্রিটিশ থার্মাল একক তাপ উৎপন্ন হয় অতএব F. P. S. পদ্ধতিতে তাপের কার্য-তুল্যাংক প্রতি ব্রিটিশ থার্মাল এককে 778 ফুট-পাউণ্ড।

একটা বিষয় তোমরা মনে রাখিবে। কার্য-শক্তিকে সম্পূর্ণরূপে তাপে রূপান্তরিত করা অতিশয় কষ্টসাধ্য, কারণ কার্য-শক্তির একাংশ শব্দে, কিছু অংশ কম্পনে (অর্থাৎ গতি-শক্তিতে), প্রভৃতিতে রূপান্তরিত হয়।

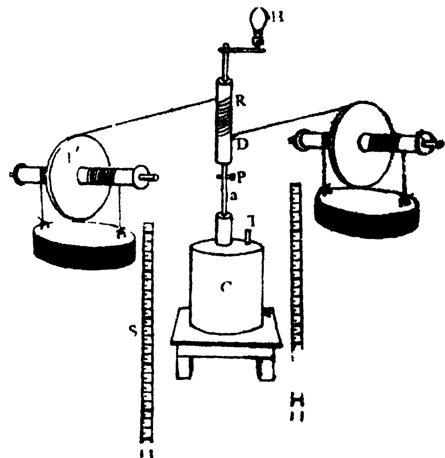
সাধারণভাবে J-এর মান $4{\cdot}2\times10^7$ আর্গ/ক্যালরি বলা হইয়া থাকে।

9.5. তাপের কার্য-তুল্যাংক নির্ণয়—জুলের পরীক্ষা (Determination of Mechanical Equivalent of Heat—Joule's experiments) :

জুল তাপের কার্য-তুল্যাংক নির্ণয়ের জন্য 1838 খ্রীষ্টাব্দ হইতে 1878 খ্রীষ্টাব্দ পর্যন্ত অনেকগুলি পরীক্ষা চালান।

তাঁহার পরীক্ষার মূল নীতি ছিল জলকে যান্ত্রিক প্যাড্‌লের সাহায্যে মন্থন করা, এবং জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি হইতে উৎপন্ন তাপের হিসাব করা। যান্ত্রিক প্যাড্‌ল্‌কে চালনা করিতে যে কার্য ব্যয় করা হইয়াছিল তাহার ও উদ্ভূত তাপের অনুপাতই হইবে তাপের কার্য-তুল্যাংক।

তাঁহার একটি যন্ত্রের সরল বিবরণ নীচে দেওয়া হইল।



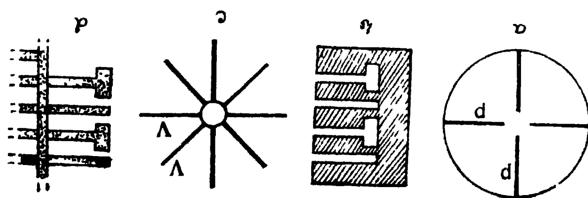
9·1 জুলের পরীক্ষা

ঢাকনাযুক্ত তামার ক্যালরিমিটার C-কে একটি কুপরিবাহী ষ্ট্যাণ্ড N-এর উপর রাখা হইত। C-এর ঢাকনার একটি ছিদ্র দিয়া ক্যালরিমিটারের মধ্যে অবস্থিত একটি প্যাড্‌লের অক্ষ ঢুকানো থাকিত ও অপর ছিদ্র T দিয়া প্রয়োজনের সময়ে একটি থার্মমিটার ঢুকানো হইত। প্যাড্‌লের অক্ষ a-কে একটি রোলার (roller) R-এর সহিত পিন P দ্বারা যুক্ত করা যায়।

পিন P খুলিয়া লইলে R ও a পরস্পর হইতে মুক্ত হইয়া যায়, তখন R ঘুরিলেও a ঘোরে না, কিংবা a ঘুরিলে R ঘোরে না। R রোলারের সহিত একটি হাতল H আছে। রোলারটিকে ঘুরাইবার জন্য উহার গায়ে সুতা জড়াইয়া দেওয়া হয়। এই সুতাকে দুই ভাঁজ করিয়া উহার ভাঁজের মুখকে রোলারের গায়ে একটি পিনে (D) আটকাইয়া দেওয়া হয় এবং উহাকে ভালভাবে রোলারের গায়ে জড়াইয়া উহা দুই প্রান্ত রোলারের দুইপাশে বাহির করিয়া লওয়া হয়। অতঃপর এই দুটি প্রান্তকে দুইটি পুলি P′, P′-এর গায়ে জড়াইয়া দেওয়া হয়। পুলি দুইটির অক্ষের উপর জড়ানো সুতার সাহায্যে দুইটি সমান ভার ঝুলানো থাকে। এই ভার যখন নামে, তখন পুলি P′ ঘুরিতে থাকে, ফলে জড়ানো সুতার টানে রোলার R-ও ঘুরিতে থাকে। ভারের অবনমন মাপিবার জন্য স্কেল S ব্যবহার করা হয়।

জুলের ক্যালরিমিটার ও প্যাড্‌ল, যাহা আলোড়কের কাজ করে তাহার গঠন বিচিত্র।

ক্যালরিমিটারের ভিতরে দেওয়াল (partition) p দিয়া উহাকে চারিটি প্রকোষ্ঠে ভাগ করা হইয়াছিল—চিত্র 9·2 (a)। দেওয়ালগুলি

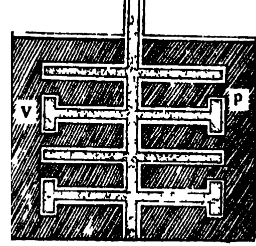


9·2 জুলের ক্যালরিমিটারের গঠন

9·2 (b) নং চিত্রের ন্যায় খাঁজ কাটা। আবার প্যাড্‌লটি এমন ভাবে তৈয়ারী করা হইল যে উহার আটটি পাখ্‌না বা ভেন (vane) V থাকে ও উহারা পার্টিশনগুলির খাঁজের মধ্যে সামান্য ফাঁক রাখিয়া ঘুরিতে পারে [চিত্র 9·2 (c) ও (d)]।

প্যাড্‌লটি যখন ক্যালোরিমিটারের মধ্যে বসানো হয় তখন সমস্ত যন্ত্রের প্রস্থচ্ছেদ 9·3 নং চিত্রের ন্যায় দেখায়। এইরূপ করিবার বিশেষ উদ্দেশ্য ছিল। সাধারণ ক্যালরিমিটারে যদি প্যাড্‌ল ঘুরাইয়া ক্যালরিমিটারের জলকে মন্থন করা হইত, তখন যদি জলের গতি থাকিত, তবে সেই

গতিশক্তি বাদ পড়িয়া যাওয়ায় মন্থনে ব্যয়িত সমস্ত শক্তি তাপে রূপান্তরিত হইত না, আর জলের গতিশক্তি জানা সম্ভব নয় বলিয়া কত শক্তি তাপে রূপান্তরিত হইল তাহাও জানা যাইত না। কিন্তু চিত্রের মত ব্যবস্থায় জল চলিতে চাহিলেই p-এর গায়ে আহত হইবে, এবং p ও V-এর মধ্যে ফাঁক যৎসামান্য হওয়ায় জলের ঘূর্ণন সম্ভব হইবে না, ফলে জলের সমস্ত গতিশক্তিই তাপে রূপান্তরিত হইবে।



9·3

কার্য-নীতি—ক্যালরিমিটারে কিছুটা জল ওজন করিয়া লওয়া হইল। থার্মমিটারের সাহায্যে জলের তাপমাত্রা মাপিয়া লইয়া থার্মমিটার বাহির করিয়া লওয়া হইল (নহিলে প্যাড্‌ল ঘুরিবার সময়ে থার্মমিটার ভাঙিয়া যাইবে)। পিন P-কে খুলিয়া লইয়া (যাহাতে R ঘুরিলেও a না ঘোরে) হাতলের সাহায্যে R-কে ঘুরাইয়া ভার দুটিকে উপরে তুলিয়া আনা হইল; এখন পিন P-এর সাহায্যে R ও a-কে যুক্ত করিয়া হাতল ছাড়িয়া দিলে ভার দুটি নীচে নামিতে থাকিবে, ফলে সূতা খুলিয়া যাইতে যাইতে R এবং a ঘুরিবে; ফলে ক্যালরিমিটারের মধ্যে প্যাড্‌ল জল মন্থন করিয়া ঘুরিবে। ভার দুটি মাটি স্পর্শ করিবার ঠিক পূর্বমুহূর্তে পিন P-কে খুলিয়া ফেলা হয় যাহাতে মাটিতে পড়িয়া ভার দুটি প্যাড্‌লের ঘূর্ণনকে ব্যাহত না করে বা সূতা উল্টাদিকে জড়াইয়া গিয়া প্যাড্‌লে হিসাবের কম-বেশী শক্তি সঞ্চারিত না হয়। তৎক্ষণাৎ ওজন দুইটিকে H হাতল ঘুরাইয়া আবার উপরে তোলা হয় ও পিন আটকাইয়া পুনরায় ওজন দুইটিকে নীচে ফেলা হয়। বারকতক এমনিভাবে ওজন দুইটিকে নীচে ফেলিবার পরে জলের তাপমাত্রা আবার মাপা হয়।

হিসাব—মনে কর ভার দুটির প্রত্যেকটির ভর $= M$;

অতএব উহাদের প্রত্যেকের ওজন $= Mg$;

যে উচ্চতা হইতে উহারা পড়িতেছে, তাহার পরিমাণ $= h$;

এবং পতনের সংখ্যা $= n$।

জল ও প্যাড্‌ল সমেত ক্যালিমিটারের জল সম $= W$;

এবং তাপমাত্রার বৃদ্ধি $= \theta$।

উচ্চে অবস্থানের সময়ে প্রত্যেক ওজনের স্থিতিশক্তি $= Mgh$;

সুতরাং দুইটি ওজনের মোট স্থিতিশক্তি $= 2\ Mgh$;

মাটিতে পড়িবার মুহূর্তে ওজন দুইটির বেগ $= v$;

অতএব ওজন দুইটির মোট গতিশক্তি $= 2 \times \frac{1}{2}Mv^2 = Mv^2$;

কাজেই যেটুকু যান্ত্রিক শক্তি প্রত্যেকবার পতনের

সময় ব্যয় হইতেছে তাহার পরিমাণ $= 2\ Mgh - Mv^2$;

$\therefore$ n বার পতনের ফলে ব্যয়িত যান্ত্রিক শক্তি $= n\ (2\ Mgh - Mv^2)$।

মোট তাপ সৃষ্টি $= W.\ \theta$।

অতএব $W.\ \theta\ J = n\ (\ 2\ Mgh - Mv^2\ )$

$$\therefore\quad J = \frac{n\ (\ 2\ Mgh - v^2\ )}{W.\ \theta}।$$

জুলের পরীক্ষার ভ্রান্তি—

জুল তাহার পরীক্ষা হইতে J-এর মান পাইয়াছিলেন প্রতি ব্রিটিশ থার্মাল এককে 773·4 ফুট-পাউণ্ড। J-এর প্রকৃত মান প্রতি ব্রিটিশ থার্মাল এককে 778 ফুট-পাউণ্ড।

জুলের পরীক্ষায় নিম্নরূপ ভ্রান্তি ছিল—

(i) পরিবহন, পরিচলন ও বিকিরণ সম্পূর্ণ ভাবে দূর করা যায় নাই।

(ii) তিনি জলের আপেক্ষিক তাপ সব তাপমাত্রায় সমান ধরিয়া লইয়াছিলেন।

(iii) জলের তাপমাত্রার বৃদ্ধি মাত্র $\frac{1}{2}°$ ডিগ্রীর মত হইয়াছিল। জুল অবশ্য $\frac{1}{100}°$ পড়া যায় এমন থার্মমিটার ব্যবহার করিয়াছিলেন, কিন্তু সেই থার্মোমিটারের সূক্ষ্মতা সন্দেহাতীত ছিল না।

(iv) স্থিতিশক্তির কিছু অংশ পুলির ঘর্ষণে ব্যয় হইয়া যাইত।

9.6. জুলের পরীক্ষার বিশেষ অর্থ (Special significance of Joule's experiments) : তাপ যে শক্তির একটি রূপ, তাহা জুলের পরীক্ষাতেই প্রথম প্রামাণ্য ভাবে জানা যায়। তাপশক্তি ব্যয়ে যান্ত্রিক শক্তি সৃষ্টি হয়, কিংবা যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করিয়া তাপশক্তি পাওয়া যায়, ইহা দেখাইয়া এবং উভয়ের সম্পর্ক নির্দিষ্ট করিয়া জুল আধুনিক তাপীয় এঞ্জিনের আবির্ভাবের পথ খুলিয়া দেন।

9.7. তাপের কার্য-তুল্যাংক নির্ণয়ের একটি সহজ পরীক্ষা

(A simple experiment to determine the Mechanical equivalent of heat) :

পরীক্ষা :—অ্যাস্‌বেস্‌টস বা কার্ডবোর্ড জাতীয় অপরিবাহী পদার্থে প্রস্তুত একটি লম্বা নল লও। ইহার দুই মুখ কর্কের ছিপি দ্বারা বন্ধ করা যায়। কতকগুলি সীসার গুলির (lead shots) মোট ভর এবং তাপ-মাত্রা বাহির কর। উহাদের নলের মধ্যে ভরিয়া ছিপি বন্ধ করিয়া দাও।

এখন নলটি হঠাৎ উল্‌টাইয়া দিলে সীসার গুলি নীচে নামিয়া আসিবে, ফলে উহাদের স্থিতিশক্তি তাপে রূপান্তরিত হইবে। নলকে উল্‌টাইয়া দিবার সময়ে সতর্ক থাকিবে যেন নলের দেওয়ালের সহিত গুলির ঘর্ষণ না হয়।

এইরূপে কয়েকবার উলটাইয়া দিলে বেশ কিছুটা তাপের সৃষ্টি হইয়া সীসার গুলি সামান্য উষ্ণ হইয়া উঠে। তৎক্ষণাৎ উহাদের তাপমাত্রা মাপিয়া লইবে।

মনে কর, এক ছিপির প্রান্ত হইতে অন্য ছিপির প্রান্ত পর্যন্ত নলের দৈর্ঘ্য $= h$;

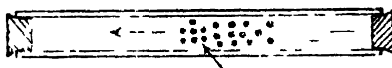
সীসার গুলি কয়েকটির মোট ভর $= m$;

নলটি উল্‌টাইয়া দিবার সংখ্যা $= n$;

সীসার আপেক্ষিক তাপ $= s$;

তাপমাত্রার বৃদ্ধি $= t$।

তাহা হইলে প্রতিবার পতনের ফলে ব্যয়িত স্থিতিশক্তির পরিমাণ $= mgh$।



9·4 সীসার গুলি

$\therefore$ n বার পতনের ফলে মোট ব্যয়িত স্থিতিশক্তি

$$= n \times mgh;$$

উদ্ভূত তাপ $= mst$;

$$\therefore \frac{n \times mgh}{J} = mst,$$

অথবা, $J = \dfrac{n \times gh}{st}$।

দ্রষ্টব্য :—এই পদ্ধতিতে শুদ্ধ ফলের আশা করা যায় না। গুলির পতনের ফলে যে তাপের উদ্ভব হয় তাহার কিছুটা ছিপির দ্বারা গৃহীত

হয়। তাহা ছাড়া পরিবহন, পরিচলন ও বিকীরণে তাপক্ষয়ের পরিমাণও যথেষ্ট। প্রতিবার গুলির পতনের সময়ে কিছুটা যান্ত্রিক শক্তি শব্দে ও গুলির লাফাইয়া উঠিবার জন্য ব্যয় হয়। দেওয়ালে গুলির ঘর্ষণ বন্ধ করাও শক্ত। তাপমাত্রা বৃদ্ধি মাপবার উপায়টিও অতিশয় অশুদ্ধ।

9.8. অনুশীলন :

(a) 1 কিলোগ্রাম জলকে 10°সে. উত্তপ্ত করিতে কত আর্গ কার্য করিতে হয়? (C. U. 1934)

1 কিলোগ্রাম = 1000 গ্রাম।

অতএব মোট তাপের পরিমাণ = $1000 \times 10 = 10{,}000$ ক্যালরি।

∴ কার্য = $J \times 10{,}000 = 4{\cdot}2 \times 10^7 \times 10{,}000 = 4{\cdot}2 \times 10^{11}$ আর্গ।

(b) 1 পাউণ্ড জলকে 1°সে. উত্তপ্ত করিতে কত ফুট-পাউণ্ড কার্য প্রয়োজন?

$$1^\circ\text{সে.} = \frac{9^\circ}{5}\text{ফা.}$$

∴ প্রয়োজনীয় তাপ = $1 \times \frac{9}{5}$ ব্রিটিশ থার্মাল একক

∴ প্রয়োজনীয় কার্য = $\frac{9}{5} \times 778 = 1400{\cdot}4$ ফুট-পাউণ্ড।

(c) J-এর মান C.G.S. পদ্ধতিতে $4{\cdot}186 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি। F.P.S. মহাকর্ষীয় পদ্ধতিতে ইহার মান বাহির কর।

1 ব্রিটিশ থার্মাল একক = 1 পাউণ্ড জলকে 1° ফা. গরম করিতে প্রয়োজনীয় তাপ

= 453·6 গ্রাম জলকে $\frac{5}{9}$° সে. " " "

= $453{\cdot}6 \times \frac{5}{9}$ ক্যালরি

= 252 ক্যালরি = $252 \times 4{\cdot}186 \times 10^7$ আর্গ।

= $252 \times 4{\cdot}186 \times 10^7$ ডাইন × সেমি. (কার্য = বল × সরণ)

= $252 \times 4{\cdot}186 \times 10^7$ গ্রাম-সেমি/ব. সে. × সেমি. (বল = ভর × ত্বরণ)

$$= 252 \times 4{\cdot}186 \times 10^7 \times \frac{1}{453{\cdot}6}\text{ পাউণ্ড} \times \frac{1}{30{\cdot}48}\text{ ফু./ব সে.} \times \frac{1}{30{\cdot}48}\text{ ফু.।}$$

$$= \frac{252 \times 4{\cdot}186 \times 10^7}{453{\cdot}6 \times 30{\cdot}48 \times 30{\cdot}48}\text{ পাউণ্ড-ফুট/ব. সে.} \times \text{ফু.}$$

$$= \frac{252 \times 4{\cdot}186 \times 10^7}{453{\cdot}6 \times 30{\cdot}48 \times 30{\cdot}48}\text{ পাউণ্ডাল} \times \text{ফুট}$$

$$= \frac{252 \times 4{\cdot}186 \times 10^7}{453{\cdot}6 \times 30{\cdot}48 \times 32{\cdot}2}\text{ ফুট-পাউণ্ড} = 777{\cdot}3\text{ ফুট-পাউণ্ড}$$

(d) একটি 150 গ্রাম বন্দুকের গুলি 3000 সেমি./সে. বেগে একটি কাঠের ফলকে প্রবেশ করিল ও 150 সেমি. বেগে উহা হইতে বাহির হইয়া গেল। গুলির প্রারম্ভিক উষ্ণতা 163·7° সে. হইলে কাঠ ভেদ করিবার পরে উহার উষ্ণতা কত হইবে? উদ্ভূত তাপের 60% গুলিতে রহিয়া গেল। কাঠের ফলকটি 8 সেমি. পুরু হইলে উহার গড় প্রতিরোধী বল কত ছিল? গুলির আপেক্ষিক তাপ 0·03।

গুলির প্রারম্ভিক গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mu^2=\frac{1}{2}\times150\times3000^2$ আর্গ

অন্তিম গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times150\times150^2$ আর্গ

∴ দুই গতিশক্তির পার্থক্যটুকু তাপে রূপান্তরিত হইবে।

উদ্ভূত তাপ $H=\frac{\frac{1}{2}\times150\times3000^2-\frac{1}{2}\times150\times150^2}{4\cdot2\times10^7}$ ক্যালরি।

$=\frac{\frac{1}{2}\times150\times8977500}{4\cdot2\times10^7}$ ক্যালরি।

এই তাপের 60% গুলিটি পাইল।

∴ গুলির লব্ধ তাপ $=\frac{1}{2}\times\frac{150\times8977500}{4\cdot2\times10^7}\times\frac{60}{100}$ ক্যালরি।

∴ $mst=H$. [$s=$ আপেক্ষিক তাপ, $t=$ তাপমাত্রার বৃদ্ধি]

∴ $t=\frac{H}{ms}=\frac{1}{2}\times\frac{150\times8957700\times60}{4\cdot2\times10^7\times100\times150\times\cdot03}$

$=2\cdot137°$সে. $=2\cdot14°$সে.।

∴ গুলির অন্তিম উষ্ণতা = প্রারম্ভিক উষ্ণতা + তাপমাত্রার বৃদ্ধি

$=163\cdot7°$সে. $+2\cdot14°$সে. $=165\cdot84°$সে.।

আবার, কাঠের গড় প্রতিরোধী বল P হইলে, উহা ভেদ করিতে গুলিকে যে কার্য করিতে হইল তাহার পরিমাণ $=P.d=P\times8$ আর্গ।

∴ $8\cdot P.=$ ব্যয়িত শক্তি

$=\frac{1}{2}\times150\times8977500$ আর্গ

∴ $P=\frac{1}{2}\times\frac{150\times8977500}{8}$ ডাইন $=\frac{1}{2}\times\frac{150\times8977500}{8}\times\frac{1}{980}$ গ্রাম-ওজন

$=\frac{1}{2}\times\frac{150\times8977500}{8\times980}\times\frac{1}{1000}$ কিলোগ্রাম-ওজন $=85\cdot9$ কিলোগ্রাম-ওজন।

(e) একটি বন্দুকের গুলি নিজের গতিপথে একটি বস্তুতে বাধা পাইয়া গলিয়া গেল। গুলির প্রাথমিক উষ্ণতা=50°সে., আপেক্ষিক তাপ =0·031, গলনাংক=335°সে., এবং গলনের লীনতাপ=5·37 ক্যালরি হইলে উহার গতিবেগ কত ছিল? [$J=4{\cdot}2\times10^7$ আর্গ/ক্যালরি]।

(C.U. 1930)

মনে কর গুলির গতি ছিল v সেমি./সে. এবং ভর=m গ্রাম।

∴ উহার গতিশক্তি ছিল $=\frac{1}{2}mv^2$ আর্গ।

এই গতিশক্তি বাধার ফলে তাপে রূপান্তর গ্রহণ করিল ও গুলিটি গলিয়া গেল।

মোট তাপ = গুলিকে গলনাংক পর্যন্ত তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপ

+ উহাকে গলাইতে প্রয়োজনীয় লীনতাপ।

$=ms.(t_2-t_1)+m.L.$ [t_2=গলনাংক, t_1=প্রারম্ভিক তাপমাত্রা, s=আপেক্ষিক তাপ, L=গলনের লীনতাপ]।

$=m\times0{\cdot}031(335-50)+m\times5{\cdot}37$ ক্যালরি।

$=m(5{\cdot}37+{\cdot}0{\cdot}031\times285)$ ক্যালরি।

∴ $m\times(5{\cdot}37+0{\cdot}031\times285)\times4{\cdot}2\times10^7=\frac{1}{2}mv^2$

∴ $v^2=14{\cdot}205\times8{\cdot}4\times10^7$

অথবা $v=34{\cdot}53\times10^3$ সেমি./সেকেণ্ড।

(f) 50 কিলোগ্রাম ভার 10 মিটার উচ্চ হইতে জলে পড়িল। সমস্ত শক্তি তাপে রূপান্তরিত হইলে কত তাপের সৃষ্টি হইল?

(Bur. Univ. Entrance 1961)

মোট স্থিতিশক্তি $=50\times1000\times10\times100\times980$ আর্গ।

∴ তাপ $=\dfrac{5\times98\times10^8}{4{\cdot}2\times10^7}$ ক্যালরি $=1166{\cdot}7$ ক্যালরি।

(g) 50 মিটার উচ্চ একটি জল-প্রপাতের উপর ও নীচের জলের উষ্ণতার পার্থক্য কত হইবে? উদ্ভূত সমস্ত তাপই জলে থাকে ধরিয়া লও। ($J=4{\cdot}2\times10^7$ আর্গ/ক্যালরি) (C.U. 1954)

মনে করি কোন অবকাশে m গ্রাম জল উপর হইতে নীচে পড়িল। এই জলের উপরে থাকিবার সময়ে স্থিতিশক্তি $=m\times980\times50\times100$ আর্গ।

$\therefore$ উদ্ভূত তাপ $= \dfrac{m \times 980 \times 50 \times 100}{4{\cdot}2 \times 10^7}$ ক্যালরি।

$\therefore$ তাপমাত্রার বৃদ্ধি θ হইলে, $.m\theta = \dfrac{m \times 980 \times 50 \times 100}{4{\cdot}2 \times 10^7}$

$\therefore$ $\theta = 0{\cdot}117$°সে.।

(h) কত উচ্চতা হইতে -10°সে. তাপমাত্রার এক তাল বরফ মাটিতে পড়িয়া ফুটিয়া বাষ্প হইয়া যাইবে? (বরফের আপেক্ষিক তাপ $=0{\cdot}5$, $J = 4{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি, $g = 980$ সেমি./ব.সে.)। মনে কর যে সমস্ত শক্তিই তাপে রূপান্তরিত হইয়া বরফে চলিয়া গিয়াছে।

মনে করি বরফের ভর $= m$ গ্রাম, এবং উচ্চতা $= h$ সেমি.।

$\therefore$ ব্যয়িত স্থিতিশক্তি $= mgh = m \times 980 \times h$ আর্গ।

$\therefore$ উদ্ভূত তাপ $= \dfrac{m \times 980 \times h}{4{\cdot}2 \times 10^7}$ ক্যালরি।

-10°সে. তাপমাত্রার m গ্রাম বরফের ফুটিয়া বাষ্প হইতে প্রয়োজনীয় তাপ $=$ (i) বরফের 0°সে. উষ্ণতায় আসিতে প্রয়োজনীয় তাপ

$= m \times 0{\cdot}5 \times \{0-(-10)\} = m0{\cdot}5 \times 10 = 5m$ ক্যালরি;

+ (ii) বরফের গলিতে প্রয়োজনীয় তাপ $= m \times 80$ ক্যালরি;

+ (iii) জলের 0°সে. হইতে 100°সে. উষ্ণ হইতে প্রয়োজনীয় তাপ

$= m \times (100-0) = m \times 100$ ক্যালরি;

+ (iv) জলের ফুটিয়া বাষ্প হইতে প্রয়োজনীয় তাপ

$= m \times 540$ ক্যালরি

$\therefore$ মোট তাপ $= 5m + 80m + 100m + 540m = 725m$ ক্যালরি।

$$\therefore \quad 725m = \frac{m \times 980 \times h}{4{\cdot}2 \times 10^7}$$

$$\therefore \quad h = \frac{725 \times 4{\cdot}2 \times 10^7}{980} \text{ সেমি.}$$

$= 310{\cdot}7$ কিলোমিটার।

[প্রকৃতপক্ষে এত উচ্চতায় g-এর মান অতিশয় অল্প; এই অনুশীলনের যথার্থতা না থাকিলেও দৃষ্টান্ত হিসাবে মূল্য আছে বলিয়াই অংকটি দেওয়া হইল]।

(i) একটি 1000 কিলোগ্রামের মোটরগাড়ী ব্রেকের সাহায্যে ঘণ্টায়

72 কিলোমিটার গতি হইতে 10 সেকেণ্ডে থামিয়া গেল। ব্রেক ও তাহার বিভিন্ন অংশের মোট ভর 40 কিলোগ্রাম ও আপেক্ষিক তাপ 0·1 হইলে তাপমাত্রার মোট বৃদ্ধি কত?

গাড়ীর বেগ = 72 কি. মি./ঘণ্টা

$$=\frac{72\times1000\times100}{60\times60}$$ সেমি./সেকেণ্ড = 2000 সেমি./সে.

∴ গাড়ীর গতিশক্তি $=\frac{1}{2}\times1000\times1000\times(2000)^{2}$ আর্গ

$=2\times10^{12}$ আর্গ

∴ উদ্ভূত তাপ $=\frac{2\times10^{12}}{4\cdot2\times10^{7}}$ ক্যালরি।

∴ তাপমাত্রার বৃদ্ধি $\theta=\frac{2\times10^{12}}{4\cdot2\times10^{7}\times40\times1000\times\cdot0\cdot1}$

$=11\cdot9°$সে.।

(j) J বাহির করিবার একটি পরীক্ষায় 800 গ্রাম সীসার গুলি একটি খাড়া কার্ডবোর্ডের চোঙে লওয়া হইল। চোঙটির দৈর্ঘ্য এমন যে উহা উল্‌টাইলে গুলির 100 সেমি. পতন হয়। গুলির প্রারম্ভিক উষ্ণতা 25°সে. এবং 50 বার চোঙটি উল্‌টাইবার পরে উহাদের উষ্ণতা হইল 28·84°সে.। সীসার আপেক্ষিক তাপ 0·031 ও g = 980 হইলে J-এর মান কত?

(C.U. 1950)

সীসার গুলির ভর m = 800 গ্রাম, পতনের উচ্চতা h = 100 সেমি., আপেক্ষিক তাপ s = 0·31।

প্রতিবার পতনের ফলে ব্যয়িত স্থিতিশক্তি = mgh = 800 × 980 × 100 আর্গ।

∴ 50 বার পতনে ব্যয়িত মোট শক্তি = 50 × 800 × 980 × 100 আর্গ।

তাপমাত্রার বৃদ্ধি t = 28·84 − 25 = 3·84°সে.।

∴ উদ্ভূত তাপ = mst = 800 × ·031 × 3·84 ক্যালরি

∴ J × mst = 50 × 800 × 980 × 100

অথবা $J=\frac{50\times800\times980\times100}{800\times\cdot031\times3\cdot84}=4\cdot11\times10^{7}$ আর্গ/ক্যালরি।

(k) জুলের একটি পরীক্ষায় নিম্নলিখিত রাশিগুলি পাওয়া গেল—

ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের জলসম = 28·92 গ্রাম,

ক্যালরিমিটারে গৃহীত জলের পরিমাণ = 243·37 গ্রাম,
পতিত ওজনের প্রতিটির ভর = 5 কিলোগ্রাম, ($= m$)
পতনের উচ্চতা = 8 মিটার, ($= h$)
ভূমিতে পড়িবার মুহূর্তে ওজনের বেগ = 120 সেমি./সে., ($= v$)
পতনের সংখ্যা = 10,
তাপমাত্রার বৃদ্ধি = 6·74°সে., ($= t$)।
J-এর মান নির্ণয় কর।

ওজন দুইটি পড়িবার সময় কিছুটা যান্ত্রিক শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

ঊর্ধ্বে ওজন দুইটির স্থিতিশক্তি $= 2mgh = 2 \times 5000 \times 980 \times 800$
$= 764 \times 10^7$ আর্গ।

মাটিতে ছুঁইবার মুহূর্তে গতিশক্তি $= 2 \times \frac{1}{2}mv^2 = 2 \times \frac{1}{2} \times 5000 \times 120 \times 120 = 7{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ।

অতএব প্রতিবারে ব্যয়িত যান্ত্রিকশক্তি $= 764 \times 10^7 - 7{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ
$= 756{\cdot}8 \times 10^7$ আর্গ

ওজন দুইটিকে 10 বার ফেলা হইয়াছিল,

অতএব মোট ব্যয়িত যান্ত্রিক শক্তি $= 10 \times 756{\cdot}8 \times 10^7$ আর্গ
$= 7568 \times 10^7$ আর্গ।

মোট উদ্ভূত তাপ $= (243{\cdot}37 + 28{\cdot}92) \times 6{\cdot}74$ ক্যালরি $= 1835{\cdot}23$ ক্যালরি।

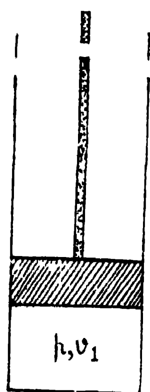
$$\therefore \quad J = \frac{7568 \times 10^7}{1835{\cdot}23} = 4{\cdot}124 \times 10^7 \text{ আর্গ/ক্যালরি।}$$

তাপীয় এঞ্জিন

(Heat Engines)

9.9. সম্প্রসারণের সময়ে গ্যাসের কার্য (Work done by a gas during expansion) :

মনে কর একটি একমুখ খোলা সিলিণ্ডারের (cylinder) মধ্যে খানিকটা গ্যাস ভরিয়া দিয়া সিলিণ্ডারের খোলা মুখটি একটি বায়ু-নিরুদ্ধ (air-tight) কিন্তু চলনে সক্ষম (movable) পিষ্টন দ্বারা বন্ধ করা হইল।



9·5

ধরা যাক্, সিলিণ্ডারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A,

উহার ভিতরে গ্যাসের চাপ p,

এবং আবদ্ধ গ্যাসের আয়তন v_1।

স্বভাবতঃই পিষ্টন গ্যাসের উপরে p চাপ দিতেছে।

গ্যাসের স্থির চাপে v_1 হইতে v_2 প্রসরণ হইলে কাজের পরিমাণ হইবে $p(v_2-v_1)$।

প্রমাণ : গ্যাসের উপর ক্রিয়ারত বল $= pA$.

পিষ্টনের সরণ $= \frac{v_2-v_1}{A}$ $\left[\text{প্রথমে গ্যাস-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য ছিল } \frac{v_1}{A}\right.$ $\left.\text{এবং পরে হইল } \frac{v_2}{A}\right]$।

$\therefore$ কার্য $= p.\ A.\ \frac{v_2-v_1}{A} = p(v_2-v_1)$।

9.10. তাপীয় এঞ্জিনের কার্যের সরল নীতি (Simple theory of action of heat engines) :

গ্যাসকে বদ্ধ আয়তনের মধ্যে রাখিয়া যদি অনেকটা তাপ দেওয়া যায়, তবে উহার চাপ বিরাট হয়। এই উচ্চ চাপের গ্যাসকে একটি সিলিণ্ডার ও পিষ্টনের মধ্যে ঢুকাইয়া দিলে গ্যাস উচ্চ চাপ হইতে সিলিণ্ডারের বাহিরের যে চাপ তাহাতে পৌঁছিতে চায় ও ফলে সম্প্রসারিত হয়। এই সম্প্রসারণের

ফলে পিষ্টনের বাহিরের দিকে সরণ হয়। পিষ্টনের সংগে চাকা প্রভৃতি লাগানো থাকিলে তাহাদের গতি লাভ হয়।

বলিতে পার, গ্যাস এখানে বাহকের কাজ করে; তাপশক্তিকে বহন করিয়া যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করাই ইহার কাজ।

9. 11. বহির্দাহ ও অন্তর্দাহ এঞ্জিন (External and Internal Combustion Engines) :

তোমরা রেলগাড়ীর বাষ্পচালিত এঞ্জিনের সামনে বিরাট চোঙার মত একটা অংশ দেখিয়াছ। এই অংশটি বয়লার। বয়লারের জলকে উচ্চ চাপ ও উচ্চ তাপমাত্রায় বাষ্পে পরিণত করা হয় কয়লার রাসায়নিক শক্তির সাহায্যে। এই বাষ্প নল বাহিয়া সিলিণ্ডারে যায়। এঞ্জিন বলিতে আসলে মাত্র সিলিণ্ডার ও পিষ্টনটুকুই বুঝায়। বাষ্পীয় এঞ্জিনে দহনের সাহায্যে তাপশক্তির সৃষ্টি করা হয় বয়লারে। অর্থাৎ এঞ্জিনের বাহিরে, সেজন্য বাষ্পীয় এঞ্জিনকে বহির্দাহ এঞ্জিন (External Combustion Engine) বলে।

মোটরগাড়ীর ক্ষেত্রে কিন্তু কার্য-প্রণালী একটু আলাদা। এখানে পেট্রোলের বাষ্প ও বাতাসের মিশ্রণকে সিলিণ্ডারের মধ্যেই জ্বালাইয়া দিয়া পেট্রোলের রাসায়নিক শক্তিকে তাপে রূপান্তরিত করা হয়। দহনের কাজটা এঞ্জিনের অর্থাৎ সিলিণ্ডারের মধ্যেই হয় বলিয়া মোটর গাড়ীর এঞ্জিনকে **অন্তর্দাহ এঞ্জিন** (Internal Combustion Engine) বলে।

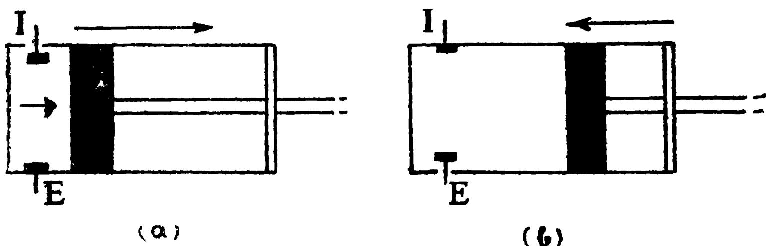
অতএব, যে এঞ্জিনে দহন এঞ্জিনের বাহিরে হয় তাহাকে বহির্দাহ এঞ্জিন বলে, এবং যে এঞ্জিনে দহন এঞ্জিনের ভিতরে হয় তাহাকে অন্তর্দাহ এঞ্জিন বলে।

তাপীয় এঞ্জিনের ব্যবহারিক প্রয়োগ সম্ভবতঃ সাভেরি ও নিউকমেন প্রথম করেন। জেম্‌স্‌ ওয়াট ইহার উন্নতি সাধন করেন। স্টিফেনসন প্রথম বাষ্প এঞ্জিনকে গাড়ী চালাইবার কার্যে ব্যবহারের পরিকল্পনা করেন।

9. 12. বাষ্পীয় এঞ্জিন (Steam Engines) :

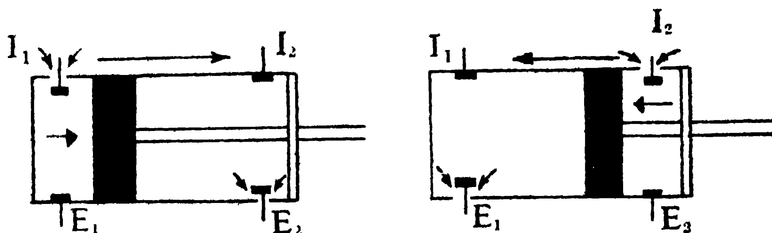
বয়লারের মধ্যে জলকে বাষ্পীভূত করিয়া উচ্চ তাপমাত্রায় (প্রায় 150°-200° সে.) এবং উচ্চ চাপে (প্রায় 200 পাউণ্ড/ব.ই.) লইয়া যাওয়া হয়। এই বাষ্প যখন সিলিণ্ডারে প্রবেশ করে, তখন উহা প্রসারিত হইবার জন্য পিস্টনকে ঠেলিয়া লইয়া যায়। ফলে পিস্টনের সংগে সংযুক্ত চাকা ইত্যাদির মধ্যে গতি সৃষ্টি হয়।

একমুখী এঞ্জিনে (Single acting Engine) বাষ্প পিষ্টনের এক পিঠেই শুধু কাজ করিতে পারে। ফলে পিষ্টন সামনে আগাইবার সময়ে যে গতিশক্তি অর্জন করে [চিত্র 9·6(a)] তাহা দিয়াই তাহাকে পিছন দিকেও চলিতে হয়; এই সময়ে বাষ্পের প্রবেশ পথ বন্ধ করিয়া দেওয়া হয় ও আর একটি নির্গমন পথ দিয়া পূর্বে যে বাষ্প কাজ করিল তাহা বাহির হইয়া যায় [চিত্র 9·6(b)]। এই বাষ্প বাহির হইয়া যাইবার পরে ও পিষ্টন পুরাতন অবস্থানে ফিরিবার পরে আবার বাষ্পের প্রবেশ পথ খোলে ও উচ্চ-চাপের বাষ্প সিলিণ্ডারে ঢুকিয়া আবার কাজ করে। একমুখী এঞ্জিনের ব্যবহার প্রায় নাই।



9·6 একমুখী বহির্দাহ এঞ্জিনের কার্যনীতি

এখন মনে কর কোন এঞ্জিনে এমন ব্যবস্থা করা হইল যে বাষ্প উহার পিষ্টনের দুই পিঠেই কাজ করিতে পারে। চিত্র নং 9·7 হইতে ইহা বুঝিতে পারিবে। ধরা যাক্ পিষ্টনের দুই পাশেই প্রবেশ মুখ I_1 ও I_2 এবং নির্গমন মুখ E_1 ও E_2 আছে। (a) চিত্রে I_1 দিয়া বাষ্প ঢুকিতেছে এবং E_1 দিয়া পিষ্টনের ডানদিকের বাষ্প বাহির হইয়া যাইতেছে, E_1 ও



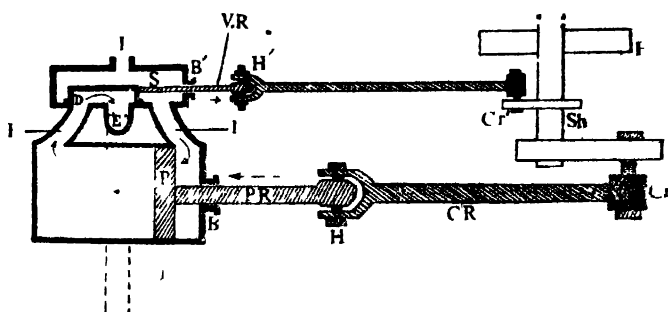
9·7

I_2 বন্ধ আছে। পিষ্টন বাম হইতে ডানদিকে যাইতেছে। (b) চিত্রে দেখ, I_2 প্রবেশমুখে দিয়া বাষ্প ঢুকিতেছে, এবং বামদিকের প্রকোষ্ঠের বাষ্প, যাহার চাপ কমিয়া গিয়াছে, E_1 নির্গমন মুখ দিয়া বাহিরে যাইতেছে।

ফলে, সম্মুখ ও পিছন দুইদিকের গতির সময়েই পিষ্টন শক্তি লাভ করে এবং ফলে এঞ্জিনের কার্য-ক্ষমতা বাড়িয়া যায়।

এই প্রকার রীতিতে কার্য-ক্ষম এঞ্জিনকে উভমুখী এঞ্জিন বলে। উভমুখী বাষ্প এঞ্জিনের ব্যবহার অতিশয় ব্যাপক। প্রকৃত এঞ্জিনে অবশ্য চারিটি ভাল্‌ভ্ I_1, I_2, E_1, E_2 থাকে না, আর এক প্রকার ব্যবস্থা করিয়া সমস্ত জিনিসটাকে আরো সহজ করা হয়।

নীচে একটি উভমুখী বাষ্পীয় এঞ্জিনের সরল চিত্র দেখা যাইতেছে। উহার প্রধান প্রধান অংশগুলির বর্ণনা দেওয়া হইল—



9·8 ষ্টীম এঞ্জিনের প্রস্থচ্ছেদ

(i) বাষ্প-প্রকোষ্ঠ (Steam Chest) S একটি আয়তাকার শক্ত লোহার বাক্স। বয়লার হইতে বাষ্প আসিয়া ইহাতে জমা হয়। বাষ্প-প্রকোষ্ঠ হইতে তিনটি মুখ বা পথ (ports) I_1, I_2 ও E বাহির হইয়াছে। ইহাদের মধ্যে I_1 ও I_2 সিলিণ্ডারের দুইপ্রান্তে সংযুক্ত। E পথটি বাষ্প-প্রকোষ্ঠ হইতে বাহিরে চলিয়া গিয়াছে।

(ii) সিলিণ্ডার (Cylinder) C একটি শক্ত চোঙের আকৃতিবিশিষ্ট লোহার পাত্র। ইহারই মাথায় বাষ্প-প্রকোষ্ঠ বসানো থাকে। I_1 ও I_2 আগম পথের (Inlet Ports) যে কোন একটি দ্বারা বাষ্প-প্রকোষ্ঠ হইতে সিলিণ্ডারে বাষ্প ঢুকিতে পারে।

(iii) পিষ্টন (Piston) P একটি ইস্পাতের তৈয়ারী পুরু চাকৃতি। ইহা সিলিণ্ডারের ভিতরে বাষ্প-নিরুদ্ধভাবে (Steam-tight) সামনে-পিছনে যাতায়াত করিতে পারে। ইহার গতিপথের বিস্তৃতি এমন করা হয় যে, ইহা I_1 ও I_2-কে পার হইয়া যাইতে পারে না।

(iv) **পিষ্টন রড** (Piston Rod) P.R. পিষ্টনের সহিত সংযুক্ত একটি দৃঢ় ইস্পাতের দণ্ড। পিষ্টনের যাতায়াতের সহিত ইহাও সামনে পিছনে চলে। ইহাকে সিলিণ্ডারের ভিতর হইতে বাহির করিবার ছিদ্রপথে আস্‌বেষ্টস্‌ প্রভৃতি বস্তু দিয়া ভরা একটি বাক্স লাগানো থাকে, ইহার নাম ষ্টাফিং বক্স (Stuffing Box) B।

(v) **সংযোগী দণ্ড** (Connecting Rod) C.R. একটি ইস্পাতের দণ্ড। পিষ্টনের ইতস্ততঃ সরল গতিকে চাকা কিংবা কারখানার শাফ্‌টের (Shaft) ঘূর্ণন গতিতে রূপ দেওয়ার কাজে ইহা অপরিহার্য। এই জন্য সংযোগী রডের এক প্রান্ত ক্রসহেড (Crosshead) H এর সাহায্যে ঢিলা-ভাবে পিষ্টন রডের সহিত সংযুক্ত থাকে, আর অন্য প্রান্ত একটি ক্র্যাঙ্ক (Crank) Cr-এর সহিত লাগানো থাকে। ক্র্যাঙ্কটি শাফ্‌ট (Shaft) Sh-কে ঘুরায়।

(vi) **স্লাইড ভাল্‌ভ** (Slide Valve) D পালাক্রমে বাষ্প-প্রকোষ্ঠ ও সিলিণ্ডারের সংযোগ পথ I_1 ও I_2-এর একটিকে খোলে ও অপরটিকে বন্ধ করে। বাষ্প এঞ্জিনে সাধারণতঃ ব্যবহৃত স্লাইড ভাল্‌ভ্‌ একটি চতুষ্কোণ বাটির আকারের হয়। ইহার দৈর্ঘ্য এমন হয় যে ইহা একসঙ্গে I_1 ও E-কে কিংবা I_2 ও E-কে ঢাকিয়া দিতে পারে। ফলে I_1 ও E বা I_2 ও E পরস্পর সংযুক্ত হয়।

পালা-ক্রমে I_1 ও I_2-কে বন্ধ করিবার জন্য স্লাইড-ভালভের সামনে-পিছনে গতির প্রয়োজন হয়। এই উদ্দেশ্যে ইহাকে একটি ভাল্‌ভ্‌ রড (Valve Rod) V.R, সংযোগী রড ও ক্র্যাংকের সাহায্যে শাফ্‌টের সহিত সংযুক্ত করা হয়। শাফ্‌ট পিষ্টনের নিকট হইতে যে ঘূর্ণন গতি লাভ করে তাহারই সাহায্যে স্লাইড-ভাল্‌ভ্‌কে গতি দেয়।

স্লাইড ভাল্‌ভের ক্র্যাংক Cr′ ও পিষ্টনের ক্র্যাংক Cr শাফ্‌টের সহিত এমন ভাবে সংযুক্ত যে পিষ্টনের গতি যে মুখে হয় স্লাইড ভালভের গতি তাহার বিপরীত মুখে হয়।

(vii) **ফ্লাই হুইল** (Fly Wheel) F একটি ভারী চক্র শাফ্‌টে সংযুক্ত থাকে। সিলিণ্ডারের মধ্যে পিষ্টনের চলন সমগতি বিশিষ্ট হয় না, ফলে শাফ্‌টের ঘূর্ণন বেগও অসমান হয়। তাহার জন্য যন্ত্রে ঝাঁকুনি লাগিতে পারে। ফ্লাই হুইলের ভর বেশী হইবার জন্য ইহার জড়তা

(interia) বেশী হয়। সুতরাং শাফ্‌ট যখন পিষ্টনের ধীর গতির জন্য ধীরে চলিতে চাহে, ফ্লাই হুইল নিজের জড়তার দরুণ তাহাকে মন্থিত হইতে দেয় না ; ফলে শাফ্‌টের ঘূর্ণনবেগ মোটামুটি সমান থাকে।

কার্যনীতি—বয়লার হইতে I পথে বাষ্প বাষ্প প্রকোষ্ঠে ঢোকে। মনে করা যাক্‌ চিত্রের ন্যায় পিষ্টন সর্বদক্ষিণে আছে। ফলে স্লাইড ভাল্‌ভ্‌ বামদিকে অন্তিম অবস্থানে থাকে এবং I_1 ও E পথকে ঢাকিয়া থাকে। I_2 খোলা থাকিবার জন্য বাষ্প বাষ্প প্রকোষ্ঠ হইতে I_2 পথে সিলিণ্ডারে। ঢোকে ও পিষ্টনের পিছনে চাপ সৃষ্টি করে। ফলে পিষ্টন সামনের দিকে চলে। ইহার সামনে যদি কোন বাষ্প থাকে তবে ইহার ঠেলায় সেই বাষ্প I_1 ও E পথ দিয়া বাহির হইয়া যায়।

পিষ্টন সামনে চলিবার সময়ে পিষ্টন রড, সংযোগী রড ও ক্র্যাঙ্কের মাধ্যমে শাফ্‌ট অর্ধ পাক ঘোরে।

পিষ্টন আসিয়া I_1-এর মুখের ঠিক আগে থামিয়া যায়। D ভাল্‌ভ পিছনে সরিয়া I_2 ও E কে বন্ধ করিয়া বসে। I_1 পথ খুলিয়া যায়। ফলে বাষ্প এখন I_1 পথে সিলিণ্ডারে প্রবেশ করে ও পিষ্টনকে পিছনের দিকে চাপ দেয়। পিষ্টন পিছনের দিকে চলিতে থাকে ও উহার চলন-পথে বাষ্পকে I_2 ও E দিয়া বাহির করিয়া দেয়। শাফ্‌টের আবর্তন পূর্ণ হয়।

এই প্রকারের এঞ্জিনে বাষ্প পিষ্টনের সম্মুখ ও পিছন উভয় দিকেই ক্রিয়া করে বলিয়া ইহাকে উভমুখী এঞ্জিন (Double-acting Engine) বলে। ইহাতে সুবিধা এই যে পিষ্টন সামনে ও পিছনে যাতায়াতের সময়ে প্রতি-বারই গতিশক্তি লাভ করে।

9.12. অন্তর্দাহ এঞ্জিন (Internal Combustion Engine) :

অন্তর্দাহ এঞ্জিনে অক্সিজেন (বাতাস) মিশ্রিত কোন দাহ্য গ্যাসকে সিলিণ্ডারের মধ্যে দহন করা হয়, ফলে যে প্রচণ্ড তাপ-শক্তি মুক্তি পায় তাহা গ্যাসে বিপুল চাপের সৃষ্টি করে। এই চাপ সিলিণ্ডারের মধ্যে পিষ্টন ও পিষ্টনের সহিত সংযুক্ত বিভিন্ন যন্ত্রে গতিশক্তি দেয়।

এখানে এঞ্জিনের ভিতরে দহন-কার্য সম্পন্ন হয় বলিয়া ইহাকে অন্তর্দাহ এঞ্জিন বলে।

অন্তর্দাহ এঞ্জিনকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা হয়। পেট্রল-এঞ্জিন (মোটর গাড়ীর এঞ্জিন ইহার উদাহরণ) বা গ্যাসীয় এঞ্জিনে বায়ুমিশ্রিত।

পেট্রল-বাষ্প বা গ্যাসকে সংকুচিত করিয়া বিদ্যুৎ-স্ফুলিংগ দ্বারা জ্বালাইয়া দেওয়া হয় ও উহা তখন কাজ করে। ভারী তৈলের (Heavy oil) এঞ্জিনে (বাসে ব্যবহৃত ডিজেল এঞ্জিন ইহার উদাহরণ) শুধু বাতাস লইয়া তাহাকে প্রচণ্ড চাপ প্রয়োগ করিয়া ভীষণ উত্তপ্ত করিয়া লওয়া হয়; এখন ইহার মধ্যে তৈল ছিটাইয়া দেওয়া হয় (sprayed)। বাতাসের উত্তাপে তৈল তৎক্ষণাৎ জ্বলিয়া উঠে, বিদ্যুৎ স্ফুলিংগের আর প্রয়োজন হয় না।

9. 14. পেট্রোল এঞ্জিন (Petrol Engines) :

পেট্রল এঞ্জিনে অক্সিজেন (বায়ু)-মিশ্রিত পেট্রলকে বিদ্যুৎ-স্ফুলিংগের সাহায্যে সিলিণ্ডারের মধ্যে জ্বালানো হয়। দহনের ফলে গ্যাসে প্রচণ্ড উত্তাপ মুক্ত হয়। এই উত্তাপ গ্যাসকে প্রসারিত করিবার চেষ্টা করে ও ফলে উচ্চ চাপের সৃষ্টি হয়। এই চাপই পিষ্টনকে গতি দেয়।

9·9 পেট্রোল এঞ্জিনের প্রস্থচ্ছেদ

9·9 নং চিত্রে পেট্রোল এঞ্জিনের নক্সা দেখানো হইয়াছে। নীচে উহার প্রধান অংশগুলির বর্ণনা দেওয়া হইল।

(i) **সিলিণ্ডার (Cylinder) বা দহন প্রকোষ্ঠ** (combustion chamber) C-তে বায়ু-মিশ্রিত পেট্রোল জ্বালানো হয়। ইহা একটি অত্যন্ত দৃঢ় ঢালাই-ইস্পাতের চোঙ।

(ii) **পিস্টন** P সিলিণ্ডারের মধ্যে চলাফেরা করিতে পারে। ইহা **সংযোগী রড** (Connecting Rod) R দ্বারা **ক্র্যাংক** S-এর সহিত যুক্ত।

(iii) **প্রবেশ মুখ** (Inlet Port) I দিয়া বায়ু-মিশ্রিত পেট্রল বাষ্প সিলিণ্ডারে প্রবেশ করে। এই মুখে একটি **প্রবেশ ভাল্‌ভ** (Inlet valve) V_1 কাজ করে।

(iv) **নির্গমন মুখ** (Exhaust Port) E দিয়া পোড়া গ্যাস নিজের কাজ সম্পূর্ণ করিবার পর বাহির হইয়া যায়। এই মুখে **নির্গমণ ভাল্‌ভ্** (Outlet Valve) V_2 কাজ করে।

(v) **স্পার্ক প্লাগ** (Spark Plug) P_1, P_2-এর মধ্যে নির্দিষ্ট সময়ে একটি বিদ্যুৎ স্ফুলিংগ সৃষ্টি করিয়া জ্বালানী গ্যাসকে দহন করা হয়।

(vi) দুইটি **ক্যাম** (Cam) C_1 ও C_2 ঘূর্ণনের পথে ভাল্‌ভ্ V_1 ও V_2-কে উঠানামা করায়।

এজন্য ক্র্যাংকশাফ্‌টের সহিত C_1 ও C_2-কে **গিয়ার** (Gear) G_1 ও G_2 দ্বারা যুক্ত করিয়া ঘুরানো হয়। কোন ক্যাম ঘুরিতে ঘুরিতে যখন ইহার সূচালো মুখ ভাল্‌ভের দণ্ডের নীচে আসে তখন উহা ভাল্‌ভ্‌কে তুলিয়া দেয় ও সেই সিলিণ্ডারের সেই মুখ (port) খুলিয়া যায়। ক্যামের সূচালো মুখ ভাল্‌ভের নীচ হইতে সরিয়া গেলে স্প্রিং (spring) Sp-এর চাপে ভাল্‌ভ্ আবার নামিয়া যায়। চিত্রে ভাল্‌ভ্ V_1-কে খোলা ও V_2-কে বন্ধ অবস্থায় দেখানো হইয়াছে।

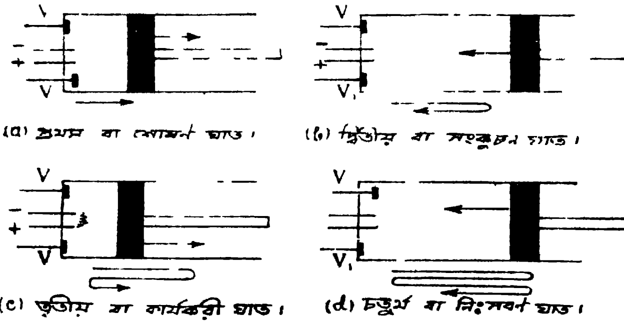
স্পার্ক প্লাগকে কাজ করাইবার জন্য তৃতীয় আর একটি ক্যাম কাজ করে, উহা ছবিতে দেখানো হয় নাই।

সিলিণ্ডারের চারিপাশে জল প্রবাহিত করিবার ব্যবস্থা আছে। জলকে বাতাসে ঠাণ্ডা করা হয়।

কার্যনীতি : পেট্রোল এঞ্জিনের পিষ্টন একবার সামনে বা একবার পিছনে গেলে বলা হয় উহার একটি ঘাত (stroke) হইল। এইরূপ পর-

পর চারিটি ঘাতের মধ্যে, অর্থাৎ দুইবার সামনে-পিছনে গেলে, পিষ্টন মাত্র একবার গ্যাসীয় দহনের তাপশক্তি লাভ করে। ইহাকে একটি চক্র (Cycle) বলে। এজন্য পেট্রোল এঞ্জিনের কার্য-ক্রমকে চারি-ঘাত চক্র (Four-stroke cycle) বলা হয়।

পেট্রোল এঞ্জিনের কার্য-নীতিকে এই চারিটি ঘাতের সাহায্যে বুঝানো হয়।



চিত্র 9·10 পেট্রোল এঞ্জিনের চারিটি ঘাত

(a) প্রথম বা শোষণ ঘাত (First or Suction Stroke) : পিষ্টন উহার সর্বাগ্র অবস্থান হইতে পশ্চাতে চলিতে থাকে। প্রবেশ ভাল্‌ভ V_1 খুলিয়া যায়। পিষ্টনের সরণের ফলে সিলিণ্ডারের মধ্যে নিম্ন চাপের সৃষ্টি হয়। কারবুরেটারে (Carburetter) মিশ্রিত পেট্রোল ও বাতাস V_1 ভাল্‌ভের পথে সিলিণ্ডারের মধ্যে শোষিত হয় [চিত্র 9·10 (a)]। নির্গমন ভাল্‌ভ V_2 বন্ধ থাকে।

(b) দ্বিতীয় বা সংকুচন ঘাত (Second Compression Stroke) :

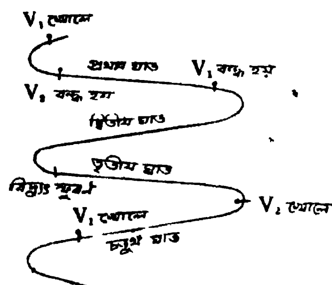
পিষ্টন বাহিরের দিকে সরণ সম্পূর্ণ হইবার পরে V_1 ভাল্‌ভ্ বন্ধ হইয়া যায়। নিজের জড়তার জন্য পিষ্টন আবার সামনের দিকে চলিতে থাকে। ফলে সিলিণ্ডারে অবস্থিত জ্বালানী (charge) অর্থাৎ পেট্রোল-বাষ্প মিশ্রণ সংকুচিত হয় ও উত্তপ্ত হইয়া উঠে। ইহার চাপ বায়ুচাপের প্রায় 5-6 গুণ ও তাপমাত্রা 550°-650° সে. হয়। এই ঘাতের সময়ে V_1 ও V_2 বন্ধ থাকে [চিত্র নং 9·10 (b)]।

(c) **তৃতীয় বা কার্যকরী ঘাত** (Third or Active Stroke) : সংকুচনের শেষে পিষ্টন যখন সর্বাগ্র অবস্থানে আসে তখন স্পার্ক প্লাগে একটি স্ফুলিংগের সৃষ্টি করা হয়। ফলে জ্বালানীটি প্রচণ্ড বিস্ফোরণের সাহায্যে জ্বলিয়া উঠে। চাপ কয়েকগুণ বাড়িয়া যায় ও পিষ্টনটি পিছনের দিকে বিপুলবেগে চলিতে থাকে। V_1 ও V_2 বন্ধ থাকে [চিত্র নং 9·10 (c)]।

(d) **চতুর্থ বা নিঃসরণ ঘাত** (Fourth or Exhaust Stroke) : তৃতীয় ঘাতের শেষে পিষ্টন যখন আবার সম্মুখ দিকে ফেরে তখন নির্গমন ভাল্‌ভ্ V_2 খুলিয়া যায়। ফলে দগ্ধ গ্যাস নির্গমন মুখ দিয়া পিষ্টনের ঠেলায় বাহির হইয়া যায়। V_1 বন্ধ থাকে [চিত্র নং 9·10 (d)]।

চতুর্থ ঘাতের পরে আবার শোষণ ঘাত আরম্ভ হয়।

প্রকৃতপক্ষে বিভিন্ন ভাল্‌ভের খোলা-বন্ধ হওয়া বা স্পার্ক প্লাগে স্ফুলিংগ সৃষ্টির সময়গুলি একটু :অদল বদল করা থাকে। যেমন, চতুর্থ ঘাত শেষ হইবার সামান্য পূর্বেই প্রবেশ ভাল্‌ভ্ খুলিয়া যায়, ফলে নূতন জ্বালানীর চাপে দগ্ধ গ্যাসের নির্গমন দ্রুত হয়। আবার তৃতীয় ঘাত আরম্ভ হইবার একটু পরে বিদ্যুৎ স্ফুলিংগ সৃষ্টি করা হয়, তাহাতে পিষ্টনে আঘাত কম লাগে। চিত্র নং 9·11-এ ইহা বুঝানো হইয়াছে।



9·11

চারিটি ঘাতের মধ্যে পিষ্টন মাত্র তৃতীয় ঘাতে শক্তি লাভ করে, বাকী কয়েকটী ঘাতে পিষ্টনের চলন সেই সঞ্চিত শক্তি ব্যয় করিয়াই হয়। এঞ্জিনের গতি তৃতীয় ঘাতে প্রচণ্ড থাকে ও বাকী ঘাতগুলিতে ক্রমেই কমিয়া আসে। ফ্লাই হুইলের সাহায্যে এই বেগকে মোটামুটি সমান করা হয়।

মোটর গাড়ী বা এরোপ্লেনে এই অসুবিধা দূর করা হয় চারি, ছয়, আট বা বেশী সিলিণ্ডার-যুক্ত এঞ্জিনের সাহায্যে। একটি চার-সিলিণ্ডার এঞ্জিনের কার্য-ক্রম হইতে সমস্ত ব্যাপার বুঝিতে পারিবে। মনে কর A, B, C, D এই চারিটি সিলিণ্ডার মোটরে লাগানো আছে। A-এর যখন প্রথম ঘাত, B-এর তখন দ্বিতীয়, C-এর তৃতীয় ও D-এর চতুর্থ ঘাত হয়। ফলে চারিটি ঘাতের প্রতিটিতেই কোন না কোন সিলিণ্ডারে কার্যকরী ঘাত সম্পন্ন হয়।

চারিটি সিলিণ্ডারের পিষ্টনই একই শাফ্‌টে সংযুক্ত থাকে। ফলে এঞ্জিনের গতি সুষম হয়।

তোমাদের মনে প্রশ্ন উঠিতে পারে, এঞ্জিনের কার্য বুঝাইবার জন্য প্রথম ঘাতে পিষ্টন পিছন দিকে চলিতেছে ধরা হইয়াছে। প্রথম চালাইবার সময়ে ইহা কিরূপে সম্ভব? সেজন্যই মোটরের এঞ্জিনে একটি সেলফ্‌ষ্টার্টার বা হাতল থাকে। হাতলের সাহায্যে বা সেল্‌ফ্‌ ষ্টার্টার চাপিয়া একটি বৈদ্যুতিক মোটরের সাহায্যে পিষ্টনকে চালাইয়া দিলে ভাল্‌ভ্‌ ইত্যাদির কার্য সুরু হয় ও এঞ্জিন সচল হয়।

9.15. ডিজেল এঞ্জিন (Diesel Engine) : ডিজেল জাতীয় ভারী তৈলে যে সমস্ত অন্তর্দাহ এঞ্জিন চালানো হয় সেগুলিতে এঞ্জিনের মধ্যে প্রথমে বায়ু শোষণ করা হয়। এই বায়ুকে সংকুচিত করা হইলে উহা অতিশয় উত্তপ্ত হইয়া উঠে। সাধারণতঃ ইহার চাপ স্বাভাবিক বায়ুচাপ অপেক্ষা 12-14 গুণ বাড়ানো হয়। এখন ইহার মধ্যে একটি সূক্ষ্ম বহু-ছিদ্র বিশিষ্ট পিচকারির সাহায্যে তৈল মিশানো হয়, ঐ তৈল বাতাসের উত্তাপে জ্বলিয়া উঠে, কিন্তু কোন বিস্ফোরণ হয় না। তখন মুক্ত তাপ দগ্ধ গ্যাসকে প্রসারিত করিতে চেষ্টা করে ও ফলে উচ্চ চাপের সৃষ্টি হয়। এই চাপের সাহায্যে পিষ্টন গতি লাভ করে।

এই এঞ্জিনের সাধারণ অন্তর্দাহ এঞ্জিনের সমান কার্য ক্ষমতার জন্য প্রায় 30% তৈল কম লাগে, সেজন্য যান-বাহনে এই এঞ্জিনের ব্যাপক প্রয়োগ হইতেছে। দ্বিতীয়তঃ বিদ্যুৎ-স্ফুলিংগের প্রয়োজন না হওয়ায় ইহাতে আগুন লাগিবার ভয় কমিয়া যায়।

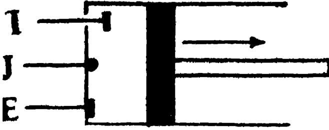
9·12 নং চিত্রে ইহার কার্য-নীতি বুঝা যাইবে।

চারিটি ঘাত লইয়া ডিজেল এঞ্জিনের একটি চক্র সম্পূর্ণ হয়।

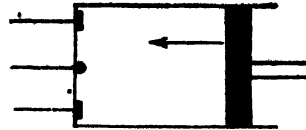
(a) **প্রথম ঘাত বা শোষণ ঘাত** (First or Suction Stroke)· এই সময়ে পিষ্টন পশ্চাত দিকে চলে ও একটি প্রবেশ ভাল্‌ভ্‌ খুলিয়া বাতাস সিলিণ্ডারে শোষিত হয়।

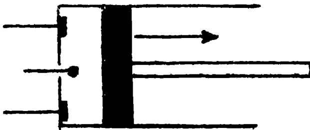
(b) **দ্বিতীয় বা সংকুচন ঘাতের** সময়ে (Second or Compression Stroke)—সিলিণ্ডারের সমস্ত ভাল্‌ভ্‌ বন্ধ থাকে। পিষ্টন সামনের দিকে চলে ও সিলিণ্ডারের বাতাস সংকুচিত ও প্রচণ্ড উত্তপ্ত হয়।

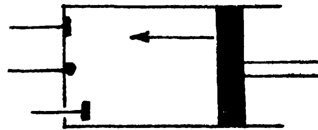
(c) **তৃতীয় বা কার্যকরী ঘাত** (Third or Active Stroke): সংকুচন ঘাত শেষ হইবার পরে পিষ্টন আবার যখন পিছন দিকে ফিরিয়া



(a) প্রথম ঘাত বা শোষণ ঘাত।


(b) দ্বিতীয় ঘাত বা সংকুচন ঘাত।


(c) তৃতীয় ঘাত বা কার্যকরী ঘাত।


(d) চতুর্থ ঘাত বা নিঃসরণ ঘাত।

9.12

যায় তখন ইন্‌জেকটর (Injector) ভাল্‌ভ্ J খুলিয়া যায় ও তৈল কতকগুলি সূক্ষ্ম ধারা রূপে সিলিণ্ডারে প্রবেশ করে। কয়েক মুহূর্ত এই ভাল্‌ভ্ খোলা থাকিয়া আবার বন্ধ হইয়া যায়। তৈল উত্তপ্ত বাতাসের স্পর্শে আসিয়া বিনা বিস্ফোরণে জ্বলিয়া উঠে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়, ফলে গ্যাসের চাপ বাড়ে। এই উচ্চ-চাপের গ্যাস পিষ্টনকে পিছন দিকে ঠেলিয়া দেয়।

(d) **চতুর্থ বা নিঃসরণ ঘাত** (Fourth or Exhaust Stroke)—পিস্টন আবার যখন সম্মুখে চলে তখন নির্গমণ ভাল্‌ভ্ E খুলিয়া যায়, ফলে দগ্ধ গ্যাস বাহির হইয়া যায়।

9.15. এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা (Power of an Engine) তাপীয় এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা সাধারণতঃ অশ্বক্ষমতার হিসাবে প্রকাশ করা হয়।

এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা হিসাব করিবার জন্য একটি সহজ সংকেত ব্যবহার করা হয়।

মনে কর, একটি চক্রে পিষ্টনের উপরে গড় চাপ $= P$,

পিষ্টনের ঘাতের দৈর্ঘ্য $= L$,

পিষ্টনের প্রস্থচ্ছেদ $= A$,

প্রতি মিনিটে কার্যকরী ঘাতের সংখ্যা = N ;

তাহা হইলে এঞ্জিনের অশ্বক্ষমতা $= \frac{PLAN}{33000}$ ।

তবে এঞ্জিনে যে শক্তি উৎপন্ন হয় তাহার সবটুকু বাহিরের কার্যে পাওয়া যায় না, ইহার মধ্যে কিছুটা এঞ্জিন চালাইবার জন্য, অর্থাৎ ঘর্ষণ ইত্যাদির কারণে ক্ষয় হয়। বাহিরের জন্য যে কার্যক্ষমতা পাওয়া যায় তাহার পরিমাণ

$$\eta \times \frac{PLAN}{33000},$$ [η = যান্ত্রিক নিপুণতা]।

9.17. এঞ্জিনের তাপীয় নিপুণতা (Thermal Efficiency of an Engine) :

এঞ্জিনে যে পরিমাণ তাপশক্তি প্রয়োগ করা যায়, তাহার অতি সামান্য অংশই কার্যে রূপান্তরিত হয় ।

এঞ্জিনের তাপীয় নিপুণতা

$$\phi = \frac{\text{কার্যে রূপান্তরিত তাপশক্তি}}{\text{ব্যবহৃত মোট তাপশক্তি}}।$$

বাষ্প এঞ্জিনে কয়লাকে পুড়াইয়া মোট যে পরিমাণ তাপশক্তি মুক্ত হয়, তাহার মধ্যে বাষ্প যেটুকু বহন করিয়া লইয়া যায় ও এঞ্জিনের মধ্যে কার্যে রূপান্তরিত করে, তাহার পরিমাণ 10—15% ।

অর্থাৎ বাষ্প এঞ্জিনের তাপীয় নিপুণতা $\phi = 10 - 15\%$ ।

অন্তর্দাহ এঞ্জিনে তাপীয় নিপুণতা কিছু বেশী, প্রায় 30%-এর কাছাকাছি ।

ব্যবহৃত মোট তাপশক্তির হিসাব করিবার জন্য জ্বালানীর (কয়লা, পেট্রোল, ডিজেল) তাপগত মান (Calorific value) জানিতে হয় । 1 পাউণ্ড বা 1 কিলোগ্রাম জ্বালানীকে যখন দগ্ধ করা হয়, তখন উহার উপাদানগুলি অক্সিজেনের সহিত মিলিত হইয়া CO_2, CO, SO_2, জলীয় বাষ্প ইত্যাদিতে পরিণত পায়। এইজন্য যে সমস্ত রাসায়নিক ক্রিয়া হয় তাহাতে যে তাপ মুক্তি পায় উহাই জ্বালানীর তাপগত মান ।

1 পাউণ্ড কয়লার তাপগত মান 10,000—15,000 বৃটিশ থার্মাল একক ।

তৈলের তাপগত মান প্রায় 20000 বৃ. থা. একক/পাউণ্ড ।

9.18. অনুশীলন :

(a) একটি সিলিণ্ডারে কোন গ্যাস 100 পা./ব.ই. স্থির চাপে প্রসারিত হইল। ইহার প্রারম্ভিক আয়তন 1 ঘন ফুট ও অন্তিম আয়তন 11 ঘন ফুট হইলে গ্যাস কত কাজ করিল ?

গ্যাসের চাপ $= p =$ 100 পা./ব.ই. $= 100 \times 144$ পা./ব.ফু.

$\therefore$ কার্য $= p(v_2 - v_1) = 100 \times 144$ পা./ব.ফু. $\times (11-1)$ ঘন ফুট

$= 144000$ ফুট-পাউণ্ড।

(প্রকৃত পক্ষে পাউণ্ড/ব.ই. চাপকে g দ্বারা গুণ করিয়া পাউণ্ডাল/ব.ই. চাপে প্রকাশ করা উচিত। তাহা হইলে কার্য ফুট-পাউণ্ডালে বাহির হইবে ; উহাকে g দ্বারা ভাগ কবিয়া ফুট-পাউণ্ডে পরিণত করিতে হয়। একবার g দ্বারা গুণ ও একবার g দ্বারা গুণ করা হইতেছে বলিয়া g-কে ব্যবহার করা নিষ্প্রয়োজন)।

(b) কয়লার তাপগত মান 12000 বৃ. থা. একক। একটি রেল এঞ্জিনের তাপীয় নিপুণতা 10% হইলে প্রতি পাউণ্ড কয়লায় উহা কতটা তাপকে কার্য রূপান্তরিত করিতে পারে ?

$$\frac{\text{ব্যবহৃত তাপ}}{\text{নিযুক্ত মোট তাপ}} = \text{তাপীয় নিপুণতা।}$$

$\therefore$ ব্যবহৃত তাপ = তাপীয় নিপুণতা × নিযুক্ত মোট তাপ

$$= \frac{10}{100} \times 12000 = 1200 \text{ বৃ থা. একক}$$

(c) পেট্রোলের তাপগত মান = 22000 বৃ. থা. এ./পাউণ্ড। কোন পেট্রোল এঞ্জিনের তাপীয় নিপুণতা 30% হইলে উহা যদি ঘণ্টায় 1 পাউণ্ড পেট্রোল ব্যয় করে তবে উহার অশ্বক্ষমতা কত ? (G. U 1950)।

ব্যবহৃত তাপ = তাপীয় নিপুণতা × নিযুক্ত তাপ

$$= \frac{30}{100} \times 22000 = 6600 \text{ বৃ. থা. একক।}$$

1 বৃটিশ থার্মাল একক = 778 ফুট-পাউণ্ড।

$\therefore$ 6600 বৃ. থা. একক $= 778 \times 6600$ ফুট-পাউণ্ড।

$\therefore$ প্রতি মিনিটে কৃত কার্য $= \frac{778 \times 6600}{60}$ ফুট-পাউণ্ড

33000 ফু. পা./মিনিট = 1 অশ্ব-ক্ষমতা

$$\frac{778 \times 6600}{60} \text{ ফু. পা./মিনিট} = \frac{1}{33000} \times \frac{778 \times 6600}{60}$$

$= 2{\cdot}593$ অশ্ব-ক্ষমতা।

(d) একটি রেল এঞ্জিনের অশ্বক্ষমতা 1200 ও তাপীয় নিপুণতা 12%। উহাতে যে কয়লা ব্যবহৃত হয় তাহার তাপগত মান প্রতি পাউণ্ডে 10,000 বৃ. থা. একক। উহাতে ঘণ্টায় কত কয়লা পোড়ে ?

এঞ্জিনের অশ্ব-ক্ষমতা = 1200

$$= 1200 \times 33000 \text{ ফু. পা./মিনিট}$$

$$= 1200 \times 33000 \times 60 \text{ ফু. পা./ঘণ্টা।}$$

$$= \frac{1200 \times 33000 \times 60}{778} \text{ বৃ. থা. একক/ঘণ্টা।}$$

[1 বৃ. থা. এ. = 778 ফু. পা.]

$\therefore$ ঘণ্টায় $\frac{1200 \times 33000 \times 60}{778}$ বৃ. থা. একক তাপ কার্যে পরিণত হইতেছে।

এঞ্জিনের নিপুণতা = 12% ;

$\therefore$ 12 একক তাপ কার্যে পরিণত হইলে ব্যবহৃত তাপ = 100 একক।

$\therefore$ $\frac{1200 \times 33000 \times 60}{778}$ বৃ. থা. একক তাপ কার্যে পরিণত হইলে

ব্যবহৃত তাপ $= \frac{100}{12} \times \frac{1200 \times 33000 \times 60}{778}$ বৃ. থা. একক।

$\therefore$ 1 পাউণ্ড কয়লা 10000 বৃ. থা. একক তাপ দেয়।

$\therefore$ ঘণ্টায় ব্যবহৃত কয়লা $= \frac{100 \times 1200 \times 33000 \times 60}{12 \times 778 \times 10000}$ পাউণ্ড।

$$= \frac{100 \times 1200 \times 33000 \times 60}{12 \times 778 \times 10000 \times 2240} \text{ টন} = 1{\cdot}136 \text{ টন।}$$

9.19. জেম্‌স্ প্রেসকট জুল (James Prescott Joule) : 1818-1889)—এই ব্রিটিশ বিজ্ঞানী শৈশবে এত রুগ্ন ছিলেন যে তাঁহার পিতামাতা তাঁহাকে বিদ্যালয়ে না পাঠাইয়া বাড়ীতেই তাঁহার শিক্ষার ব্যবস্থা করেন। সৌভাগ্যক্রমে আণবিক তত্ত্বের আবিষ্কর্তা জন ডাল্‌টন শিশুর গৃহশিক্ষক নিযুক্ত হইলেন। এই বিজ্ঞানীর শিক্ষায় বালক শীঘ্রই বিজ্ঞানের গবেষণার আস্বাদ পাইলেন। পিতার কারখানায় বিদ্যুৎ-তত্ত্বের সম্বন্ধে গবেষণা করিয়া বাইশ বৎসর বয়সে জুল তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফলের সূত্র আবিষ্কার

করেন। ইহার পরে বিভিন্ন এঞ্জিনের কার্যধারার দিকে তাঁহার দৃষ্টি পড়ে। তাঁহার সূক্ষ্ম বুদ্ধি লক্ষ্য করে যে সমস্ত এঞ্জিনেই তাপ প্রয়োগে যান্ত্রিক কার্য করা হয়। তিনি উভয়ের সম্বন্ধ আবিষ্কার চেষ্টায় ব্রতী হন, ও অবশেষে ইহাতে সক্ষম হন। 1849 খ্রীষ্টাব্দে তিনি পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করেন যে তাপ ও যান্ত্রিক শক্তি পরস্পর তুল্য, অর্থাৎ নির্দিষ্ট পরিমাণ যান্ত্রিক শক্তি ব্যয়ে নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ পাওয়া যায়। তাঁহার আবিষ্কার তাপগতি বিদ্যার প্রথম সূত্র (First Law of Thermodynamics) নামে পরিচিত—ইহাতে বলা হয় তাপ ও যান্ত্রিক শক্তি পরস্পর তুল্য। তাপের কার্য-তুল্যাংককে তাঁহার সম্মানার্থে J দ্বারা নির্দেশ করা হয়। কার্যের ব্যবহারিক একক জুল ($=10^7$ আর্গ) তাঁহার নামে প্রচলিত।

জুল কতকগুলি তড়িৎ-মাপক যন্ত্র, গতি-বেগ নির্ণয়ের যন্ত্র প্রভৃতিও আবিষ্কার করেন।

9 20. স্যার হামফ্রে ডেভী (Sir Humphry Davy) : (1778—1829)—এই বিখ্যাত রাসায়নিক ও বিজ্ঞানী জীবনে যদি আর কিছু না করিতেন, তবু খনি মজুরদের পরিত্রাতা ডেভীর নিরাপত্তা বাতির আবিষ্কারক হিসাবেই চিরকাল পরিচিত থাকিতেন। এক ঔষধ প্রস্তুতকারীর শিক্ষানবীশ হিসাবে তরুণ বয়সেই ডেভী বিজ্ঞানচর্চার বসালাভ করেন। আবিষ্কারক ও গবেষক হিসাবে তাঁহার খ্যাতি এত প্রসারিত হয় যে 23 বৎসর বয়সে তিনি লণ্ডনের রয়াল ইন্‌ষ্টিট্যুশনের রসায়নের শিক্ষক নিযুক্ত হন। পরের বৎসর তিনি কৃষি বোর্ডের রসায়নের অধ্যাপক পদে বৃত হন। 1803 খ্রীষ্টাব্দে তিনি রয়াল সোসাইটির সভ্য হন, 1807 খ্রীষ্টাব্দে সোসাইটির সম্পাদক, ও 1820 খ্রীষ্টাব্দে সভাপতি হন।

রসায়ন শাস্ত্রে ডেভী বহু তথ্যের আবিষ্কারক হিসাবে বিখ্যাত। তিনিই প্রথম দেখান যে তড়িৎ-প্রবাহের দ্বারা রাসায়নিক বিয়োজন (chemical decomposition) ঘটানো যায় এবং তড়িৎ বিশ্লেষণের দ্বারা সোডিয়াম পটাসিয়াম, ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম ও বেরিয়াম ধাতু প্রস্তুত করেন। নাইট্রাস অক্সাইডের জ্ঞান হরণ করিবার ক্ষমতার সন্ধান পাইয়া তিনিই প্রথম ইহাকে অস্ত্র-চিকিৎসায় ব্যবহারের সম্ভাবনা নির্দেশ করেন। পরীক্ষায় তাঁহার ঔৎসুক্যের জন্য তিনি নূতন কিছু আবিষ্কার করিলে প্রথম তাহা

নিজের উপর প্রয়োগ করিতেন, এবং ইহার ফলে একাধিকবার তিনি নিজের জীবন হারাইতে বসিয়াছিলেন।

ডেভী ইউরোপের অধিকাংশ বৈজ্ঞানিক পরিষদের সভ্য নির্বাচিত হন।

রয়াল সোসাইটির মুখপত্রে তাঁহার প্রবন্ধ নিয়মিত রূপেই প্রকাশিত হইত। ইহা ছাড়া তিনি একাধিক গ্রন্থ রচনা করেন। তাঁহার গ্রন্থ Last Days of a Philosopher তাঁহার মৃত্যুর পরে প্রকাশিত হয়।

তাঁহার স্মৃতি রক্ষার জন্য রয়াল সোসাইটি প্রতিবৎসর পৃথিবীর অন্যতম শ্রেষ্ঠ বিজ্ঞানীকে ডেভী স্বর্ণপদক প্রদান করেন। ইহা বিজ্ঞানের অন্যতম শ্রেষ্ঠ সম্মান চিহ্ন বলিয়া গণ্য।

9.21. জেমস্ ওয়াট (James Watt) : (1736—1819)— তাপীয় এঞ্জিনের কথা প্রসংগে জেমস্ ওয়াটের নাম আসিয়া পড়িতে বাধ্য। এই নিপুণ যন্ত্রশিল্পী যখন গ্ল্যাসগো বিশ্ববিদ্যালয়ে কারিগর বা মেকানিক ছিলেন তখন সম্ভবতঃ সারাইবার জন্য আনীত একটি নিউকমেন এঞ্জিন দেখিয়া তাঁহার উর্বর মস্তিষ্কে উহাকে লইয়া কাজ করিবার ইচ্ছা জাগে। ইহারই ফলে তিনি আধুনিক বাষ্পীয় এঞ্জিনের উদ্ভাবন করেন (1758 খ্রীঃ)।

তিনিই প্রথম কার্য-ক্ষমতা মাপিবার জন্য "অশ্ব-ক্ষমতা" একক ব্যবহার করেন। তিনি দেখিলেন যে একটি ঘোড়া 150 পাউণ্ড কয়লাকে পুলির সাহায্যে টানিয়া 1 মিনিটে গড়ে 220 ফুট তুলিতে পারিত, অর্থাৎ মিনিটে 33000 ফুট-পাউণ্ড কার্য করিতে পারিত। এই কার্যের হারকে তিনি অশ্ব-ক্ষমতা নাম দেন।

ক্ষমতার অন্য প্রচলিত একক ওয়াট, যাহার মান $\frac{1}{746}$ অশ্ব-ক্ষমতা, তাঁহার নামে প্রচলিত।

প্রশ্নমালা

1. তাপ এক প্রকারের শক্তি—ব্যাখ্যা কর।

Heat is a form of energy—Explain. (C.U. 1936,41 ; Pat. 1926 ; Dac. 1928,30)

2. কোন্ কোন্ যুক্তিতে তাপকে একপ্রকার শক্তি বলা যায় বুঝাইয়া দাও।

Give an outline of the arguments which led to the conclusion that heat is a from of energy.

(C. U. 1937 ; U. P. B. 1932)

3. তাপ যে শক্তির রূপান্তর তাহা পরীক্ষার দ্বারা কিরূপে প্রমাণ করিবে ?

How would you prove experimentally that heat is a form of energy ? (C. U. 1936, '41)

4. তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক $4{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ/ ক্যালরি—ইহাতে কি বুঝায় ?

What do you mean by the statement—

Mechanical Equivalent of heat is $4{\cdot}2 \times 10^7$ ergs/calori· (C. U. 1936. 41, '42, '54, '58, '62 ; Bom. U. 1950 ; Mad. U. 1930 ; G.U. 1949 ; Pre. U. 1962).

5. তাপের কার্য—তুল্যাংকের সংজ্ঞা লিখ ও উহা নির্ণয় করিবার কোন পদ্ধতি বর্ণনা কর।

Define Mechanical Equivalent of heat and describe a method to determine it. (C.U. 1936, '39, '41, '43, '47, '49, '50, '54, '58 ; Dac. 1942 ; Pat. 1942, '44 ; U. P. B. 1948)

6. তাপের কার্য-তুল্যাংক নির্ণয়ের কোন পদ্ধতি বর্ণনা কর এবং উহার এককগুলি সুস্পষ্টভাবে বর্ণনা কর।

Describe a method of determining the mechanical equivalent of heat and mention clearly the units in which it is measured. (C. U. 1939, '41 ; P. U. 1930 ; Pre. U. 1962)

7. কারণ ব্যাখ্যা কর—

(i) একটি বাইসাইকেল পাম্পের দ্বারা চাকায় হাওয়া ভরিবার সময়ে পাম্পটি গরম হইয়া উঠে।

(ii) হাতুড়ি দিয়া দেওয়ালে পেরেক ঠুকিলে পেরেকটি উত্তপ্ত হয়।

(iii) উচ্চ হইতে কোন বস্তু মাটিতে পড়িলে গরম হইয়া যায়।

Explain Why—

(i) A bycycle pump gets heated when it is used to fill air in a tyre. (Dac. U. 1932)

(ii) A nail, while being fixed on the wall by hammering becomes hot.

(iii) A falling body becomes hotter when it strikes the ground. (Dac. U. 1927)

8. এক কিলোগ্রাম ভরের একটি বস্তু 100 মিটার উচ্চ হইতে মাটিতে পড়িল। সমস্ত যান্ত্রিক শক্তি তাপে রূপান্তরিত হইলে, কতটা তাপ উৎপন্ন হইবে? [233·3 ক্যালরি]

A 1 Km. mass falls to the ground from a height of 100 metres. Assuming the whole mechanical energy to be converted into heat, calculate the heat developed.

9. একটি 100 গ্রাম ওজনের সীসার গোলক 60 মিটার উচ্চ হইতে মাটিতে পড়িল। সীসার আপেক্ষিক তাপ 0·03 হইলে সীসার কত তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইল? [4·67°সে.]

A 100 gm. lead ball falls to earth from a height of 60 metres. If the sp. heat of lead is 0·03, calculate its rise in temperature.

10, কত মাইল উচ্চতা হইতে একটুকরা বরফ পড়িলে বাষ্পে রূপান্তরিত হইবে? (g-এর মান 32 ধরিয়া লইও)। সমস্ত যান্ত্রিক শক্তিই তাপে রূপান্তরিত হইবে। [প্রায় 191·5 মাইল]।

From what height in miles should a piece of ice be dropped so that it is converted into vapour? (Assume g = 32). The entire mechanical energy will transform into heat.

11. দৈর্ঘ্য যদি মিটারে, ভর কিলোগ্রামে ও তাপমাত্রা ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে মাপা হইত তবে তাপের কার্য-তুল্যাংক কত হইত?

[42000 কার্য-একক/তাপ-একক]।

If the length was measured in metres, mass in Kg. and temperature in °C. What would be the mechanical equivalent of heat?

12. দেওয়ালে পেরেক মারিবার জন্য ব্যবহৃত একটি হাতুড়ির ভর 30 পাউণ্ড উহা পেরেকে আঘাত করিবার সময়ে উহার বেগ 20 ফুট/সেকেণ্ড। উদ্ভূত তাপের 30% পেরেক পাইলে পেরেকের উষ্ণতা কত বৃদ্ধি পাইবে? পেরেকের ভর $=\frac{1}{80}$ পাউণ্ড, আপেক্ষিক তাপ $=0{\cdot}11$, J $=778$ ফুট পাউণ্ড/ বৃ. থা. একক।

A hammer weighs 30 lbs. and drives a nail into the wall with a speed of 20 ft/sec. If the nail shares 30% of the heat generated, calculate its temperature rise. Given mass of the nail $=\frac{1}{80}$ lb., sp. heat $=0{\cdot}11$, J $=778$ ft. lb/B.T.U.

13. একটি কামান 40 পাউণ্ড গোলা ছুঁড়িয়া 30 মা./ঘ. বেগে ধাবমান একটি 20 টনী ট্যাংককে থামাইয়া দিতে পারে। গোলার আপেক্ষিক তাপ 0·1 হইলে ও উদ্ভূত তাপের সবটুকু গোলা লইলে উহার উষ্ণতা কত বাড়িবে?

A cannon firing a 40 lb. shell can just stop a 20-ton tank running at 30 mph. If the sp. heat of the shell be 0·1 and if the heat developed be confined in the shell, calculate its temperature rise.

[ইংগিত: গোলাটির বেগ মনে কর v। v-এর মান এমন হইবে যেন উহার ভরবেগ mv ট্যাংকের ভরবেগের সমান হয়। তাহা হইলে উভয় ভরবেগ বিপরীত মুখী হওয়ায় মোট ভরবেগ শূন্য হইবে ও ট্যাংকটি থামিয়া যাইবে।]

14. জুলের একটি পরীক্ষায় নিম্নলিখিত তথ্য পাওয়া গেল—

ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের জল সম $=51{\cdot}3$ গ্রাম,

ক্যালরিমিটার গৃহীত জলের পরিমাণ $=458{\cdot}5$ গ্রাম,

উচ্চ হইতে পাতিত দুইটি ভরের প্রতিটির ভর $=5$ কিলোগ্রাম,

পতনের উচ্চতা $=10$ মিটার,

পতনের সংখ্যা = 5 মিটার,

মাটি স্পর্শ করিবার মুহূর্তে ভারের বেগ = 203·1 সেমি./সে.।

তাপমাত্রার বৃদ্ধি = 2·32°সে.।

J-এর মান কত হইবে ?

[$4{\cdot}04 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি]

In one set of Joule's expériment, the following data were recorded—

Water Equivalent of Calorimeter & stirrer = 51·3 gm.,

Mass of water taken in calorimeter = 458·3 gm.,

Mass of each of the two weights dropped = 5 kgm.,

Height of fall = 5,

Speed of the weigth at the instant of touching ground = 203·1 cms/sec.

Temperature rise = 2·£2°c.

Find the value of J.

15. জুলের পদ্ধতিতে কোন পরীক্ষায় নিম্নলিখিত রাশিগুলি পাওয়া গেল—

ক্যালরিমিটার ও আলোড়কের জল সম = 37·32 গ্রাম,

ক্যালরিমিটারে গৃহীত তৈলের পরিমাণ = 503·45 গ্রাম,

তৈলের আপেক্ষিক তাপ = 0·51,

পাতিত ভারের প্রতিটির ওজন = 4 কিলোগ্রাম,

পতনের উচ্চতা = 2·2 মিটার,

পতনের সংখ্য = 10,

ভূমিতে পতনের পূর্বে ভরের বেগ = 52·4 সেমি./সে. ;

$J = 4{\cdot}18 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি হইলে ক্যালরিমিটারের তাপমাত্রা কত বৃদ্ধি পাইয়াছিল ?

[1·394°সে.]।

In an experiment according to Joule'smethod, the following data were obtained—

Water Equivalent of Calorimeter & Stirrer = 37·32 gm.,

Mass of oil taken in the Calorimeter = 503·45 gm.,

Specific heat of oil = 0·51,

Mass of the two weights dropped = 4 kgm each,

Height of fall = 2·2 meters:,

Number of falls = 10,

Speed of the weights just before touching ground = 52·4 cm./sec.

Assuming $J = 41{\cdot}8 \times 10^7$ erg/cal., find the temperature rise.

16. তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক নির্ণয়ের কোন পরীক্ষায় অ্যাস্‌বেষ্টসের চোঙ ও সীসার গুলি ব্যবহৃত হইয়াছিল। নিম্নলিখিত পাঠ পাওয়া গেলে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক কত?

অ্যাস্‌বেষ্টস চোঙের দৈর্ঘ্য = 85 সেমি.,

সীসার গুলির মোট ভর = 224:3 গ্রাম,

সীসার আপেক্ষিক তাপ = 0 03

চোঙটিকে যতবার উলটানো হইল তাহার সংখ্যা = 28,

সীসারগুলির তাপমাত্রার বৃদ্ধি = 2°সে.।

(সমস্ত তাপই গুলিতে আবদ্ধ রহিয়াছে ধরিয়া লওয়া হইল)।

[$3{\cdot}89 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি।]

An asbestos cylinder and a few lead shots were used in an attempt to determine the mechanical equivalent of heat. The following data were obtained. Find J, assuming all heat generated to remain confined into the shots.

Length of asbestos cylinder = 85 cm.,

Mass of the lead shots (total) = 224·3 gm.,

Sp. heat of lead = 0·03

Number of times the asbestos cylinder was inverted = 28,

Temperature rise = 2·0°c.

17. কোন বাষ্পীয় এঞ্জিনের বর্ণনা ও কার্য-প্রণালী একটি পরিচ্ছন্ন চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। ইহাকে বহির্দহন এঞ্জিন বলে কেন?

Explain the construction and action of a steam engine with the help of a neat diagram.

18. কোন অন্তর্দহন এঞ্জিনের বর্ণনা ও কার্য-নীতি চিত্রের সাহায্য লইয়া বুঝাইয়া দাও।

Explain the contruction and principle of action of an internal combustion engine with the help of a diagram.

19. একটি পেট্রোল এঞ্জিনের বর্ণনা দাও।

Describe a Petrol Engine.

চুম্বকতত্ত্ব

প্রথম পরিচ্ছেদ

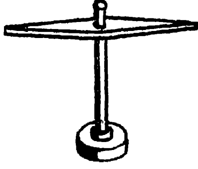
চুম্বক ও তাহার ধর্ম

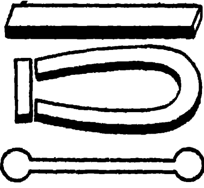
(Magnets & Their Properties)

1.1. স্বাভাবিক চুম্বক (Natural Magnets) : অতীত যুগের মানুষ পথ চলিবার সময়ে দিবাভাগে সূর্য্য, ও রাত্রে নক্ষত্রের সাহায্যে দিক্ নির্ণয় করিত। তাহার পরে, সে-ও বহুদিন পূর্বের কথা, সম্ভবতঃ এশিয়ামাইনরের ম্যাগ্নেসিয়া নামক জায়গায় লৌহের অক্সিজেন-ঘটিত এক আকরের (ore) সন্ধান পাওয়া গেল। এই প্রস্তরের দুইটি বিশেষত্ব লক্ষিত হইল। (i) আকর্ষণী ধর্ম (Attractive Property)—ইহা লৌহের ছোট ছোট টুকরা বা গুঁড়াকে আকর্ষণ করিতে পারে, এবং (ii) দিগ্দর্শী ধর্ম (Directive Property)—ইহার একটি টুকরাকে মুক্ত অবস্থায় ঝুলাইয়া দিলে ইহা সর্বদা উত্তর-দক্ষিণ দিকে ফিরিয়া থাকে। এই প্রস্তরের নাম দেওয়া হইল ম্যাগ্-নেটাইট (Magnetite—Fe_2O_3, Fe_3O_4)। ইহার যে বিশেষ গুণের জন্য ইহা লৌহকে আকর্ষণ করিতে পারে সেই গুণকে বলা হইল চৌম্বকগুণ (magnetism)। ম্যাগ্নেটাইটের দিগ্দর্শী ধর্মের সাহায্য লইয়া সম্ভবতঃ প্রথম চীনা নাবিকেরা ইহাকে দিক্ নির্ণয়ের কাজে ব্যবহার করিতে আরম্ভ করেন। ইহার আর এক নাম হয় লোডষ্টোন (lodestone) অর্থাৎ দিগ্দর্শী প্রস্তর (leading stone)। যতদূর জানা যায় ইউরোপে দ্বাদশ শতাব্দীতে দিগ্দর্শন যন্ত্র (compass) ব্যবহৃত হয়। ম্যাগনেটাইট প্রস্তরের টুকরাকে স্বাভাবিক চুম্বক (natural magnet) বলা হয়।

1.2. কৃত্রিম চুম্বক (Artificial Magnet) : লোডষ্টোন দ্বারা একটি ইস্পাতের দণ্ডকে ঘষিলে ইস্পাতের দণ্ডটি চৌম্বক ধর্ম প্রাপ্ত হয়। ইহাকে কৃত্রিম চুম্বক (artificial magnet) বলা হয়। আজকাল বিভিন্ন উপায়ে কৃত্রিম চুম্বক প্রস্তুত করা যায়, এবং এই সমস্ত কৃত্রিম চুম্বককে প্রয়োজনানুসারে ইচ্ছামত আকার দেওয়া যায়। সাধারণতঃ কৃত্রিম চুম্বক নিম্নলিখিত আকারের হয়।

(i) দণ্ড চুম্বক (Bar Magnet)—ইহারা বৃত্তাকার বা আয়তাকার প্রস্থচ্ছেদের দণ্ডের আকৃতি বিশিষ্ট হয়।





1·1

উপর হইতে নীচে—চৌম্বক শলাকা, দণ্ড চুম্বক, অশ্বখুরাকৃতি চুম্বক (চৌম্বক রক্ষকসহ), গোলক-বিশিষ্ট চুম্বক।

(ii) অশ্বখুর চুম্বক (horse shoe magnet)—ইহাদের আকার অশ্বখুরের ন্যায় হয়।

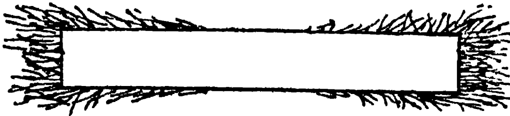
(iii) চৌম্বক শলাকা (magnetic needle)—ইহাদের অগ্রভাগ তীক্ষ্ণ হয়।

(iv) গোলক-বিশিষ্ট চুম্বক (ball-ended magnet)—ইহাদের গঠন দণ্ডের ন্যায়, তবে দুই প্রান্তে দুইটি গোলক আছে।

কৃত্রিম চুম্বককে দুইটি ভাগে ভাগ করা যায়—(1) স্থায়ী চুম্বক—ইহাদের চুম্বকত্ব স্থায়ী হয়, অর্থাৎ বহুদিন থাকে। (2) অস্থায়ী চুম্বক—এই প্রকার চুম্বকের চুম্বকত্ব প্রয়োজনানুসারে ইচ্ছামত লোপ করা হয়, আবার দরকারমত সৃষ্টি করা যায়।

1.3. কয়েকটি সংজ্ঞা :

(i) **মেরু (Poles) :** একটী চুম্বকদণ্ডকে লৌহচুর্ণের ভিতরে ডুবাইলে দেখা যায় যে উহার দুই প্রান্তে প্রচুর লৌহচুর্ণ লাগিয়া গিয়াছে, কিন্তু দুই প্রান্ত হইতে যত কেন্দ্রের দিকে অগ্রসর হওয়া যায়, আকৃষ্ট লৌহের পরিমাণ কমিতে

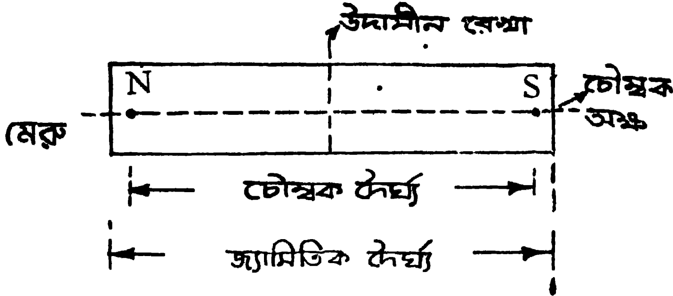


1·2

কমিতে ঠিক মাঝামাঝি শূন্য হইয়া যায়। সুতরাং চুম্বক দণ্ডটির দুই প্রান্তে চৌম্বক আকর্ষণের পরিমাণ সর্বাধিক। আমরা কল্পনা করিতে পারি যে চুম্বকের দুই প্রান্তের চৌম্বক ধর্ম দুইটি বিন্দুতে সন্নিবিষ্ট থাকে। এই বিন্দু দুইটিকে বলে চুম্বকের মেরু।

সংজ্ঞা : চুম্বকের চৌম্বক আকর্ষণ যে দুইটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত থাকে তাহাদের চুম্বকের মেরু বলে।

(ii) **উত্তর ও দক্ষিণ মেরু (North & South Poles) :** একটি চুম্বক দণ্ডকে মধ্যস্থলে সুতায় বাঁধিয়া অনুভূমিক অবস্থায় ঝুলাইয়া রাখিলে দেখা যায় যে উহা কয়েকবার দুলিয়া এমন ভাবে স্থির হইয়া দাঁড়াইল যে উহার এক প্রান্ত উত্তর দিকে ও অন্য প্রান্ত দক্ষিণ দিকে ফিরিয়া থাকিল।



1·3

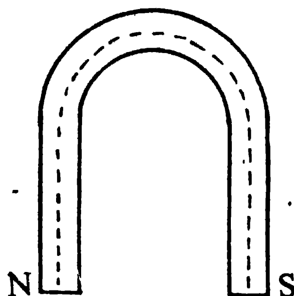
এই অবস্থা হইতে উহাকে ঘুরাইয়া দিলেও উহা কয়েকবার দোলনের পরে আবার একই অবস্থায় ফিরিয়া স্থির হইয়া যাইবে। আরও দেখা যাইবে যে উহার একটি বিশেষ প্রান্তই সর্বদা উত্তর দিকে থাকিতেছে, এবং অপর প্রান্ত সর্বদাই দক্ষিণ দিকে থাকিতেছে। অতএব আমরা বলিতে পারি যে চুম্বকের একটি মেরু সর্বদাই উত্তর দিক নির্দেশ করে ও অন্য মেরু দক্ষিণ দিক নির্দেশ করে।

সংজ্ঞা : কোন চুম্বক মুক্ত অবস্থায় থাকিলে উহার একটি মেরু উত্তর দিক নির্দেশ করে ; এই মেরুকে উত্তর-সন্ধানী মেরু (North-seeking pole) অথবা সংক্ষেপে উত্তর মেরু বা সুমেরু (North pole) বলে। চুম্বকের অপর মেরু দক্ষিণ দিক নির্দেশ করে ; এই মেরুকে দক্ষিণ-সন্ধানী মেরু (South-seeking pole) অথবা সংক্ষেপে দক্ষিণ মেরু বা কুমেরু (South pole) বলে। 1·3 নং চিত্রে দণ্ড-চুম্বকটির উত্তর ও দক্ষিণ মেরুকে N ও S দ্বারা দেখানো হইয়াছে।

(iii) **চৌম্বক অক্ষ (Magnetic Axis) :** চুম্বকের উত্তর ও দক্ষিণ মেরু যোগকারী রেখাকে চৌম্বক অক্ষ বলে।

(iv) **চৌম্বক দৈর্ঘ্য (Magnetic Length) :** চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ, অর্থাৎ উত্তর ও দক্ষিণ মেরু যোগকারী রেখার দৈর্ঘ্যকে উহার চৌম্বক দৈর্ঘ্য বলে। চুম্বকের দৈর্ঘ্য বলিতে সাধারণতঃ উহার চৌম্বক দৈর্ঘ্যই বুঝায়। সাধারণতঃ

চুম্বকের মেরু উহার প্রান্তদেশে না থাকিয়া একটু ভিতরে থাকে, সেজন্য উহার চৌম্বক দৈর্ঘ্য উহার জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য (geometrical length) অপেক্ষা কম হয়; ইহার পরিমাণ জ্যামিতিক দৈর্ঘ্যের 0·85—0·92 অংশ হইয়া থাকে।



অশ্বক্ষুর চুম্বকের মেরু ও অক্ষ।

1·4

(v) **উদাসীন রেখা (Neutral Line):** চুম্বকের কেন্দ্র বিন্দু দিয়া অক্ষের উপর লম্বভাবে যে রেখা টানা যায় সেই রেখায় কোন চৌম্বক আকর্ষণ নাই। এই রেখাকে উদাসীন রেখা বলা হয়। এই রেখা হইতে কোন মেরু পর্যন্ত অক্ষের দৈর্ঘ্যকে l দ্বারা সূচীত করা হয়, এবং চৌম্বক দৈর্ঘ্যকে $2l$ দ্বারা নির্দেশ করা হয়।

1.4. চৌম্বক (Magnetic) ও অচৌম্বক (Non-magnetic) পদার্থ:

চুম্বক যে সমস্ত পদার্থকে আকর্ষণ করে তাহাদের বলে **চৌম্বক পদার্থ**। লোহা, নিকেল ও কোবল্ট প্রকৃষ্ট চৌম্বক পদার্থ। ইহা ছাড়া তরল অক্সিজেন, Ferric Oxide (Fe_2O_3), Ferroso-ferric Oxide (Fe_3O_4) প্রভৃতিও চৌম্বক পদার্থ। চৌম্বক পদার্থকে ঠিকমত উপায়ে চুম্বকে পরিণত করা যায়।

যে সমস্ত পদার্থ চুম্বকের দ্বারা আকৃষ্ট হয় না তাহাদের অচৌম্বক পদার্থ বলে। অধিকাংশ পদার্থই, যেমন চৌম্বক ধাতুগুলি ছাড়া অন্য সমস্ত ধাতু, কাঠ, মাটি, জল, সবই অচৌম্বক পদার্থ।

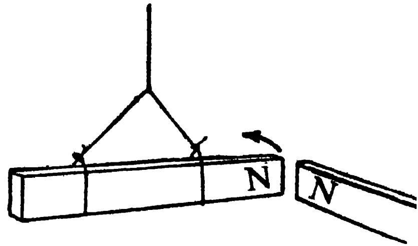
[বৈজ্ঞানিক **ফ্যারাডে** আবিষ্কার করেন যে অচৌম্বক পদার্থ বলিয়া কিছু নাই, বিশ্বের যাবতীয় বস্তুকে তাহাদের উপর চুম্বকের প্রভাব অনুসারে তিনটি শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। যে সমস্ত বস্তুর উপর চৌম্বক আকর্ষণ খুব বেশী তাহাদের বলা হয় অয়শ্চৌম্বক পদার্থ (Ferro-magnetic substances), যেমন লৌহ, নিকেল, কোবাল্ট। যে সমস্ত বস্তুর উপর সামান্য চৌম্বক আকর্ষণ আছে তাহাদের বলা হয় পরাচৌম্বক পদার্থ (Paramagnetic substances), যেমন অক্সিজেন, প্ল্যাটিনাম, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি। এই দুই শ্রেণী ছাড়া সমস্ত

বস্তুই চুম্বক দ্বারা সামান্য বিকর্ষিত হয়, তাহাদের বলা হয় তিরশ্চুম্বকী পদার্থ (Diamagnetic substanccs), যেমন তামা, জল প্রভৃতি]।

হয়শ্লার ধাতু (Heusler alloy) নামে একটি উৎকৃষ্ট চৌম্বক পদার্থ পাওয়া যায়। ইহার বিশেষত্ব এই যে ইহা একটি সংকর ধাতু এবং ইহার উপাদান তামা, ম্যাংগানীজ ও অ্যালুমিনিয়াম,—এই তিনটির প্রত্যেকটিই অচৌম্বক পদার্থ।

1.5. দ্যুফে'র সূত্র (Du Fay's Law) ঃ সমমেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে, আর বিষমমেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে (Like poles repel, and unlike poles attract, each other)—

পরীক্ষা ঃ একটি দণ্ডচুম্বককে একটি সূতায় বাঁধিয়া মুক্ত অবস্থায় অনুভূমিক অবস্থানে ঝুলাইয়া রাখ। উহার যে মেরু উত্তর দিক্ নির্দেশ করিবে সেদিকে খড়ি দ্বারা চিহ্নিত কর, ইহা চুম্বকের উত্তর মেরু। আর একটি দণ্ডচুম্বককে সূতায় ঝুলাইয়া তাহারও উত্তর মেরু ঠিক করিয়া লও। এখন দ্বিতীয় চুম্বককে হাতে ধরিয়া উহার উত্তর মেরুকে ধীরে ধীরে ঝুলন্ত প্রথম চুম্বকটির উত্তর মেরুর কাছে লইয়া যাও। দেখিবে ঝুলন্ত চুম্বকটি তীর চিহ্নিত অভিমুখে ঘুরিয়া যাইবে। হাতে ধরা চুম্বকটি সরাইয়া লও। ঝুলন্ত চুম্বকটি কয়েকবার দুলিয়া আবার উত্তর দক্ষিণ দিকে স্থির হইয়া দাঁড়াইবে ও উহার উত্তর মেরু যথাপূর্ব উত্তর দিক্ নির্দেশ করে। হাতে ধরা চুম্বকটির উত্তর মেরুকে ঝুলন্ত চুম্বকের উত্তর মেরুর কাছে আনিবার সময়ে উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণ হইয়াছিল বলিয়াই চুম্বকটি ঘুরিয়া গিয়াছিল। উভয় চুম্বকের দক্ষিণ মেরু লইয়া পরীক্ষা করিলেও একই রূপ বিকর্ষণ দেখা যায়।



1·5

এখন হাতে ধরা চুম্বকটির উত্তর মেরুকে ঝুলন্ত চুম্বকের দক্ষিণ মেরুর কাছে লইয়া যাও। দেখিবে ঝুলন্ত চুম্বকটি আগাইয়া আসিবে। দুই বিপরীত প্রকৃতির মেরুর আকর্ষণের জন্যই এইরূপ হয়।

(এই পরীক্ষার সময়ে হাতে ধরা চুম্বকটিকে ধীরে ধীরে ঝুলন্ত চুম্বকের কাছে লইয়া যাইতে হয়। একটি চৌম্বক মেরুকে খুব দ্রুত আর একটি চৌম্বক

মেরুর কাছে লইয়া গেলে উহাদের মধ্যে যেটি শক্তিশালী সেটি দুর্বল মেরুর চৌম্বক শক্তিকে নষ্ট করিয়া দেয়। সেরূপ যাহাতে না হয় তাহার জন্যই এই ব্যবস্থা)।

1.6. বিকর্ষণই চৌম্বকত্বের প্রকৃত প্রমাণ (Repulsion is a surer test of magnetism) :

একটি চৌম্বক মেরু বিপরীত মেরুকে আকর্ষণ করে, আবার একটি সাধারণ লৌহদণ্ডকেও আকর্ষণ করে। সুতরাং একটি দণ্ডের এক প্রান্তকে একটি ঝুলন্ত চুম্বকের মেরুর কাছে লইয়া গেলে যদি উভয়ের মধ্যে আকর্ষণ হয়, তবে জোর করিয়া বলা যাইবে না যে উহা সাধারণ লৌহদণ্ড, না চুম্বক; কারণ দণ্ডটি যদি চুম্বক হয়, এবং পরীক্ষার সময়ে যদি অজ্ঞাতসারে ঝুলন্ত চুম্বকের মেরুর কাছে দণ্ডটির বিপরীত ধর্মী মেরু লইয়া যাওয়া হয়, তবেও ঠিক সাধারণ লৌহদণ্ডের মত উহার ও ঝুলন্ত চুম্বকের মধ্যে আকর্ষণ হইবে। কিন্তু যদি হাতের দণ্ডটি উল্টাইয়া ধরিয়া উহার বিপরীত প্রান্তকে ঝুলন্ত চুম্বকের একই মেরুর কাছে লইয়া যাওয়া যায় ও উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণ হয়, তবে ইহা নিশ্চিত করিয়া বলা যায় যে হস্তধৃত দণ্ডটি চুম্বক। দণ্ডটি যদি সাধারণ লৌহখণ্ড হইত তবে উহাকে উল্টাইয়া ধরিলেও ঝুলন্ত চুম্বকের মেরু উহার উপর আকর্ষণই প্রয়োগ করিত, বিকর্ষণ নহে।

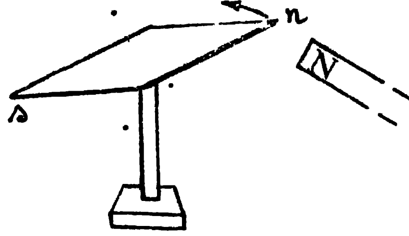
সুতরাং কোন দণ্ডের প্রান্ত যদি চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয় তবে জোর করিয়া বলা যায় না দণ্ডটি লৌহ বা অন্য চৌম্বক পদার্থ দণ্ড, না নিজেই চুম্বক। কিন্তু উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণ হইলে ইহা সুনিশ্চিত যে হাতের দণ্ডটি চুম্বক।

1.7. কোন দণ্ড চুম্বক কিনা তাহা পরীক্ষা (To determine if a bar is a magnet or not) :

(i) **যদি দণ্ড ও একটুকরা সুতা দেওয়া থাকে,** তবে সুতায় বাঁধিয়া দণ্ডটি অনুভূমিক করিয়া ঝুলাও। যদি দণ্ডটি উত্তর-দক্ষিণ নির্দেশ করিয়া দাঁড়ায়, এবং উহাকে বিচ্যুত করিলেও আবার একই অভিমুখে ফিরিয়া আসে, তবে বুঝিবে যে উহা চুম্বক। সাধারণ লোহার বা অন্য কিছুর অচুম্বক দণ্ড হইলে উহা সর্বদা একই দিকে দাঁড়াইবেনা।

(ii) **যদি দণ্ড ও লৌহের গুঁড়া দেওয়া থাকে** তবে দণ্ডটিকে লৌহ-চুর্ণে ডুবাইলে যদি দেখা যায় যে উহার দুই প্রান্তে লৌহ-চুর্ণ লাগিয়া আছে। তবে বুঝিতে হইবে উহা চুম্বক দণ্ড।

(iii) দণ্ড ও চুম্বক শলাকা (অথবা ঝুলন্ত চুম্বক দণ্ড) দেওয়া থাকিলে, দণ্ডটির একটি প্রান্তকে প্রথমে চুম্বক শলাকা বা ঝুলন্ত চুম্বক দণ্ডের এক মেরুর কাছে ও পরে অন্য মেরুর কাছে লইয়া যাও। যদি দেখ যে একবার আকর্ষণ ও অন্যবার বিকর্ষণ হইল তবে বুঝিবে যে দণ্ডটি চুম্বক। যদি দুইবারই আকর্ষণ হয় তবে দণ্ডটি অচুম্বকিত চৌম্বক পদার্থ, আর যদি আকর্ষণ বা বিকর্ষণ কিছুই না থাকে তবে দণ্ডটি অচৌম্বক পদার্থ।

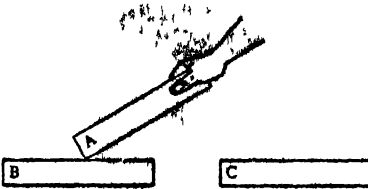


1·6

(iv) একই রকম দেখিতে তিনটি দণ্ড দেওয়া আছে। উহাদের একটি চুম্বক, একটি অচুম্বকিত চৌম্বক পদার্থ ও অপরটি অচৌম্বক পদার্থে প্রস্তুত। তাহাদের কোনটি কি নিম্নলিখিত উপায়ে পরীক্ষা করা যায়।

মনে কর দণ্ড তিনটিকে A, B ও C বলা হইল। উহাদের কোন্‌টি কি তাহা অবশ্য জানা নাই।

A-কে হাতে লইয়া উহার এক প্রান্ত দিয়া B ও C-এর মধ্য স্থানে পর পর ছোঁয়ানো হইল। একই ভাবে B দিয়া A ও C-কে, এবং C দিয়া A ও B-কে মধ্যস্থলে ছোঁয়া হইল। দেখা যাইবে, মোট ছয়টি প্রক্রিয়ার মধ্যে একটি ক্ষেত্রে হস্তস্থিত দণ্ড ও শায়িত দণ্ডের মধ্যে আকর্ষণ অনুভূত হইবে। সেক্ষেত্রে বুঝিবে হাতের দণ্ডটি চুম্বক ও আকর্ষিত দণ্ডটি চৌম্বক পদার্থ। অন্য দণ্ডটি অচৌম্বক পদার্থ।



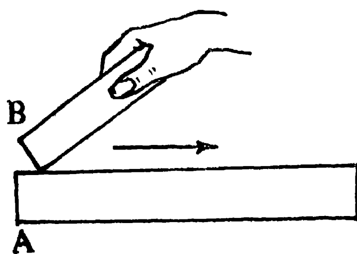
1·7

ব্যাখ্যা ঃ চুম্বক ও অচৌম্বক দণ্ডের মধ্যে কোন আকর্ষণ থাকে না। আবার চৌম্বক দণ্ড ও চুম্বক দণ্ডের মধ্যে আকর্ষণ থাকে বটে, কিন্তু চৌম্বক দণ্ডটি চুম্বক দণ্ডের মধ্যস্থলে, অর্থাৎ উদাসীন অঞ্চলে আকৃষ্ট হয় না।

হাতে অচৌম্বক পদার্থ থাকিলে তাহা চুম্বক বা চৌম্বক পদার্থের দ্বারা কোন আকর্ষণ অনুভব করিবে না। হাতের দণ্ডটি যদি চৌম্বক পদার্থ হয়, উহা অচৌম্বক দণ্ডের দ্বারা আকৃষ্ট হইবে না, এবং চুম্বকের মধ্যস্থল অর্থাৎ উদাসীন অঞ্চল দ্বারাও আকৃষ্ট হইবে না। কিন্তু হাতের দণ্ডটি চুম্বক হইলে উহার প্রান্তদেশ চৌম্বক পদার্থের মধ্যস্থলে ছোঁয়াইলেও আকর্ষণ হইবে।

1.8. **অনুশীলন**ঃ তোমাকে দুইটি একই ধরণের দণ্ড দেওয়া হইয়াছে, তাহাদের একটি চুম্বক ও অপরটি চৌম্বক পদার্থে প্রস্তুত। কোন কিছুর সাহায্য ব্যতিরেকে কিভাবে উহাদের চিনিবে?

মনে কর দণ্ড দুইটিকে A ও B বলা হইল। উহার একটিকে (মনে কর B) হাতে লইয়া অপরটির উপরে ধরিয়া দৈর্ঘ্যবরাবর বিভিন্ন বিন্দুতে আকর্ষণ পরীক্ষা কর। পরীক্ষায় দুই ধরণের ফল পাওয়া যাইতে পারে—যদি দেখ যে সমস্ত বিন্দুতেই দণ্ড দুটির মধ্যে আকর্ষণ আছে, তবে বুঝিবে হাতের দণ্ডটি চুম্বক ও দ্বিতীয়টি চৌম্বক পদার্থ, কারণ চুম্বকের মেরু চৌম্বক দণ্ডের সর্বত্র আকর্ষণ বল প্রয়োগ করিবে। কিন্তু যদি দেখ যে কেবল দুই-প্রান্তেই আকর্ষণ আছে, প্রান্ত-দেশ হইতে যত ভিতরে যাওয়া যায় আকর্ষণ কমিয়া যাইতেছে, তবে বুঝিতে হইবে যে হস্তধৃত দণ্ডটি চৌম্বক পদার্থ ও শায়িত



1·8

দণ্ডটি চুম্বক, এবারে শায়িত চুম্বক হাতের দণ্ডটিকে আকর্ষণ করিতেছে, কিন্তু এই আকর্ষণ চুম্বকের মেরুতে (অর্থাৎ প্রান্তে) প্রবলতম, যত ভিতর দিকে যাওয়া যাইবে, এই বলের পরিমাণ কমিয়া যাইবে।

1.9. **পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক**ঃ একটি চুম্বক দণ্ডকে মুক্ত অবস্থায় ঝুলাইয়া দিলে উহা উত্তর দক্ষিণ অভিমুখে স্থির হইয়া দাঁড়ায়। ইহার কারণ কি? ইংলণ্ডের রাণী এলিজাবেথের চিকিৎসক ডাঃ গিলবার্ট প্রথম ইহার ব্যাখ্যা করেন। তোমরা জান যে বিপরীত ধর্মী দুইটি চৌম্বক মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে। অতএব একটি ঝুলন্ত চুম্বকের উত্তর-দক্ষিণ মুখে স্থির হইয়া দাঁড়াইবার কারণ এই যে চুম্বকের উত্তর মেরুকে নিশ্চয়ই কোন বিপরীত ধর্মী মেরু আকর্ষণ করে, আবার চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকেও উহার

বিপরীত ধর্মী কোন মেরু আকর্ষণ করে। পৃথিবীর সর্বত্রই চুম্বকের একই প্রকারের ব্যবহার দেখিয়া বুঝিতে পারা যায় যে পৃথিবীর সুমেরুর কাছে চুম্বকের উত্তর মেরুর বিপরীত কোন চৌম্বক মেরু আছে। এই মেরুকে পৃথিবীর চৌম্বক উত্তর মেরু বলা হয়। মনে রাখিও যে চুম্বকের উত্তর মেরু প্রকৃতপক্ষে উত্তর-সন্ধানী মেরু অর্থাৎ ইহার ধর্ম ভূচৌম্বক উত্তর মেরুর বিপরীত। সেইরূপ পৃথিবীর কুমেরুর কাছে একটি চৌম্বক দক্ষিণ মেরু আছে।

প্রশ্নমালা

1. চুম্বক কি? কৃত্রিম ও স্বাভাবিক চুম্বকের পার্থক্য কি? চুম্বকের মেরুকে কিরূপে চিনিবে?

What is a magnet? Distinguish between a natural magnet and an artificial magnet. How do you identify the pole of a magnet? (H. S. 1960)

2. সংজ্ঞা-সহ ব্যাখ্যা কর:

মেরু, দক্ষিণ মেরু, চৌম্বক অক্ষ, উদাসীন রেখা, চৌম্বক দৈর্ঘ্য।

একটি লোহার টুকরা চুম্বকিত কিনা কিরূপে বুঝিবে?

Define and explain :—

Pole, South pole, Magnetic axis, Neutral line, Magnetic length. (cf. Pre. U. 1962)

How would you test whether a piece of iron is magnetised or not? (C. U. 1952)

3. চৌম্বক ব্যবহারের ভিত্তিতে পদার্থকে কয় শ্রেণীতে ভাগ করা যায়? চৌম্বক ও অচৌম্বক পদার্থের পার্থক্য কি।

How can substances be classified according to their magnetic behaviour? Distinguish between magnetic and non-magnetic subtances.

4. পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও:

(*a*) সমমেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে, আর বিষমমেরু আকর্ষণ করে।

(*b*) বিকর্ষণই চুম্বকত্বের শ্রেয় প্রমাণ।

(*c*) চুম্বকের দুইটি বিপরীত প্রকৃতির মেরু আছে।

Explain with the help of suitable experiments :—

(*a*) Like poles repel, and unlike poles attract.

(*b*) Repulsion is a surer test of magnetism. (C. U. 1925 ; Pre. U. 1962)

(*c*) A magnet has two opposite poles. (C. U. 1941)

5. তোমাকে একই রকমের তিনটি সূচ দেওয়া হইল ; উহাদের একটি চুম্বক, একটি অচুম্বকিত চৌম্বক পদার্থ ও একটি অচৌম্বক। একটি দণ্ড-চুম্বক থাকিলে উহাদের কিরূপে চিনিবে ?

You are given three needles looking alike. One of them is a magnet, other is an unmagnetised magnetic substance, the third is a non-magnetic substance. How, taking the help of a bar magnet, can you identify them ? (Pre. U. 1962)

6. তোমাকে একই রকমের আকার ও বর্ণের তিনটি দণ্ড দেওয়া হইল ; উহাদের একটি চুম্বক, একটি কাঁচা লোহা ও অন্যটি পিতলের দণ্ড। কোন কিছুর সাহায্য ব্যতিরেকে ইহাদের কি ভাবে চিনিতে পার ?

You are given three bars of identical shape and colour ; one of them is a magnet, one a soft iron bar and the third is a brass rod. How can you identify them without taking help of anything else ? (H. S. 1961 ; cf. C. U. 1958)

7. চৌম্বক ভিত্তিতে এক টুকরা তামা, এক টুকরা কাঁচা লোহা ও একটি দিগ্‌দর্শী পাথরের প্রভেদ কি ? চুম্বকদণ্ডের চৌম্বক মেরু বলিতে কি বুঝ ?

What is the difference magnetically between a piece of copper, a piece of soft iron, and a lode-stone ?

What do you mean by the "pole" of a bar magnet ? (C. U. 1951)

8. তোমাকে একই ধরণের দুইটি ইস্পাতের দণ্ড দেওয়া হইল, উহাদের একটি চুম্বক। কিরূপে উহাদের চিনিবে ?

You are given two exactly alike steel bars, one of them is a magnet. How would you distinguish them ? (C. U. 1947)

9. তোমাকে একটি চুম্বক শলাকা ও চারিটি একই ধরণের দণ্ড দেওয়া হইল, উহাদের একটি চুম্বক, একটি ইস্পাতের দণ্ড, একটি কাঁচা লোহার দণ্ড ও একটি পিতলের দণ্ড। কিরূপে উহাদের চিনিবে। (দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ দেখ)

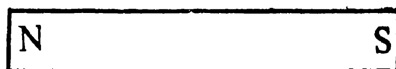
You are given four identical looking bars, one of them is a magnet, one a piece of steel, one a soft-iron bar, and the fourth a brass bar. How would you identify them ? (C. U. 1938)

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

আণবিক তত্ত্ব

(Molecular Theory)

2.1. **চুম্বককে ভাঙিলে কি হয় ?**—একটি কঠিনীকৃত (hardened) (কোন ধাতুকে অতিশয় উত্তপ্ত করিয়া ঠাণ্ডা জলে ডুবাইলে উহার কঠিনীকরণ হইয়াছে বলা হয়। তখন ইহা অতিশয় কঠিন হয়, অর্থাৎ উহার উপরে সহজে দাগ কাটা যায় না বা উহার সহজে ক্ষয় হয় না, কিন্তু উহা অতিশয় ভঙ্গুর হয়। কাচের এই প্রকার ধর্ম রহিয়াছে।) পাতলা ইস্পাতের চুম্বককে যদি মাঝামাঝি ভাঙিয়া দুইটি টুকরা করিয়া ফেলা যায় তবে দেখা যায় প্রতিটি টুকরাই এক একটি চুম্বক হইয়া গিয়াছে। তোমাদের মনে হওয়া স্বাভাবিক যে যেহেতু চুম্বক দণ্ডটির একপ্রান্তে উত্তর মেরু ও অন্যপ্রান্তে দক্ষিণ মেরু ছিল, উহাকে ভাঙিলে উহার একটি টুকরার প্রান্তে সুধু উত্তর মেরু ও অন্য টুকরার প্রান্তে সুধু দক্ষিণ মেরু পাওয়া যাইবে। কিন্তু দেখা যায়, যে রেখায় উহাকে ভাঙা হইল, সেই ভাঙা রেখা বরাবর একটি টুকরায় দক্ষিণ মেরু ও অন্য টুকরায় উত্তর মেরুর সৃষ্টি হইল। যে টুকরাটির এক প্রান্তে মূল উত্তর মেরু থাকিবার কথা, তাহার অপর প্রান্তে দক্ষিণ মেরু পাওয়া গেল।

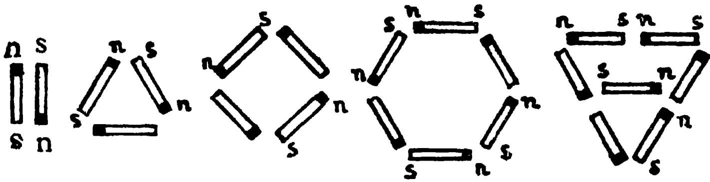




21

আমরা যদি চুম্বকটিকে আরও ছোট ছোট টুকরায় ভাঙিয়া ফেলি, তবে প্রতিটি টুকরাই এক একটি পূর্ণাংগ চুম্বকে পরিণত হইবে। তাহা হইলে, যতই চেষ্টা করা যাক না কেন, কোন সময়েই আমরা একটি মাত্র চৌম্বক মেরু পাইব না, উহাদের জোড়ায় জোড়ায় পাইব।

2.2. চৌম্বক ধর্মের আণবিক তত্ত্ব (Molecular Theory of Magnetism) : উপরের পরীক্ষা হইতে বুঝিতে পারা যায় যে একটি চুম্বককে ভাঙিয়া টুকরা টুকরা করিলে প্রতিটি টুকরাই একটি পূর্ণাংগ চুম্বকে পরিণত হয়। তাহা হইলে প্রতিটি টুকরায় যে নূতন নূতন চৌম্বক মেরু পাওয়া যায় তাহারা কোথা হইতে আসিল? স্বভাবতই আমরা মনে করিতে পারি যে ইহারা চুম্বকের মধ্যেই ছিল, চুম্বককে ভাঙিবার ফলে বাহির হইয়া আসিল। চুম্বকটিকে যদি ভাঙিতে ভাঙিতে ক্ষুদ্র হইতে ক্ষুদ্রতর অংশে পরিণত করা যায় তবুও প্রতিটি অংশই এক একটি চুম্বক হইবে। অবশেষে এই ভাবে উহাকে ভাঙিতে ভাঙিতে আমরা যখন এক একটি অণু পাইব, স্বভাবতঃই কল্পনা করা যায় যে তখন দেখা যাইবে অণুগুলিও এক একটি পূর্ণাংগ চুম্বক। বিজ্ঞানী ওয়েবার (Weber) প্রথম এই তত্ত্ব বর্ণনা করেন; তাঁহার মতে যে কোন

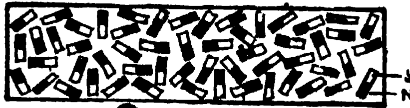


2·2

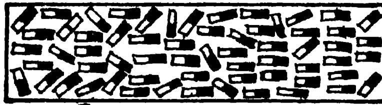
চৌম্বক পদার্থের অণুগুলি এক একটি পূর্ণাংগ চুম্বক। এই অণুচুম্বকগুলিকে সেজন্য ওয়েবার কণা (Weber elements) বলা হয়। স্বভাবতঃই একটি চুম্বককে আমরা যখন ভাঙিয়া টুকরা করি, তখন উহার অণুগুলিকে মাঝ বরাবর ভাঙা সম্ভব হয় না, ভাঙিবার রেখাটা দুইটি অণুর মধ্যে দিয়া যায়। সেজন্য একটিমাত্র মেরু পাওয়া যায় না। একটি প্রশ্ন থাকিয়া যায়। সাধারণ একটুকরা লোহাও তো চৌম্বক পদার্থ; উহার অণুগুলি যদি চুম্বক হয় তবে উহার চুম্বকধর্ম নাই কেন? ইউয়িং (Ewing) ইহার ব্যাখ্যা দেন। চিত্র নং 2·2 হইতে সেই ব্যাখ্যা বুঝিতে পারা যাইবে। সাধারণ চৌম্বক পদার্থের অণুগুলিও চুম্বক বটে, কিন্তু অচুম্বকিত অবস্থায় সেই অণুগুলির কয়েকটি করিয়া পরস্পর সারি বাঁধিয়া একটি বদ্ধ শৃংখলের (closed chain) আকারে রহিয়া যায়। এই শৃংখলগুলির মধ্যে যে অণুগুলি থাকে, তাহাদের একটির উত্তর মেরুর পাশে অতি নিকটে আর একটি অণুর দক্ষিণ মেরু

অবস্থান করে। সুতরাং ইহাদের বিপরীত ধর্মী প্রভাব পরস্পরকে প্রশমিত করিয়া রাখে, ও বাহিরে উহাদের চৌম্বক শক্তির কোন প্রকাশ থাকেনা।

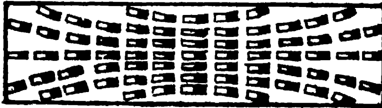
চৌম্বক পদার্থটি যখন চুম্বকে পরিণত হয় তখন এই বদ্ধ শৃংখলগুলি ভাঙিয়া গিয়া অণুগুলি পরপর রেখাবদ্ধভাবে সজ্জিত হইয়া যায়। এই অবস্থায় চুম্বকটির



a চুম্বকীকরণের পূর্বে



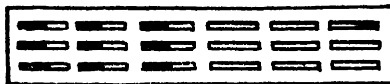
b আংশিক চুম্বকীকরণের পর



c পূর্ন চুম্বকীকরণের পর

2·3

ভিতরে পরপর একটি অণুর উত্তর মেরু ও পরবর্তী অণুর দক্ষিণ মেরু সাজানো থাকে, কিন্তু উহার একপ্রান্তে প্রান্তীয় সমস্ত অণুগুলির উত্তর মেরু ও অন্য প্রান্তে প্রান্তীয় অণুগুলির দক্ষিণ মেরু থাকে (চিত্র নং 2·3)। ফলে চুম্বকটির দুই প্রান্তে চৌম্বক মেরু থাকে, কিন্তু মধ্যে কোন চুম্বকত্ব থাকেনা। আমরা যদি





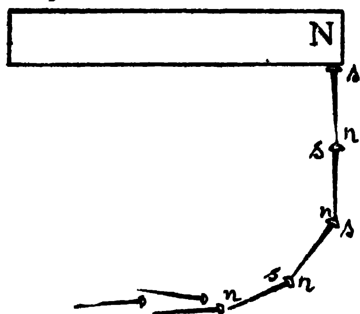
2·4

উহাকে ভাঙি, তবে মাত্র দুইটি অণুর মধ্য দিয়া ভাঙিতে পারি ; একটি অণুকে ভাঙিয়া দুইটুকরা করা যায় না। সুতরাং ভাঙা প্রান্ত দুটিতে আবার অণুগুলির

মুক্ত মেরু পাওয়া যায় (চিত্র নং 2·4)। সেজন্যই প্রতিটি ভাঙা টুকরাই এক একটি পূর্ণাংগ চুম্বকে পরিণত হয়।

2.3. চৌম্বক আবেশ (Magnetic Induction) :

পরীক্ষা :—কয়েকটি নরম বা কাঁচা লোহার (Soft Iron) পেরেক লইয়া টেবিলের উপরে রাখ। একটি শক্তিশালী চুম্বক দণ্ড লইয়া উহার একটি মেরুকে একটি পেরেকের এক প্রান্তে স্পর্শ করাও। পেরেকটি চুম্বকের দ্বারা আকৃষ্ট হইয়া উহার গায়ে লাগিয়া থাকিবে। চুম্বকটি উপরে তুলিলে পেরেকটি উহা হইতে ঝুলিতে থাকে। এখন এই অবস্থায় পেরেকের অপর প্রান্তে আরেকটি পেরেক স্পর্শ করিলে উহা ঐ পেরেকের প্রান্তে লাগিয়া যায়। এই উপায়ে পেরেকগুলিকে একটি শৃংখলের ন্যায় পরপর আটকাইয়া ফেলা যায়।



2·5

কয়েকটি পেরেককে চুম্বকের উত্তর মেরুতে আটকাইয়া উপরের ন্যায় একটি শৃংখল তৈয়ারী কর। এখন শৃংখলের সর্বশেষ পেরেকের মুক্ত প্রান্তের কাছে একটি চুম্বক শলাকা আন। দেখিবে যে শলাকার উত্তর মেরু পেরেকের মুক্ত প্রান্তের দ্বারা বিকর্ষিত হইবে ও দক্ষিণ মেরু উহার দ্বারা আকৃষ্ট হইবে। অতএব পেরেক নিশ্চয় একটি চুম্বকে পরিণত হইয়াছে ও উহার মুক্ত প্রান্তে একটি উত্তর মেরুর সৃষ্টি হইয়াছে। পেরেকটির অপর প্রান্তে নিশ্চয় একটি দক্ষিণ মেরু আছে।

চুম্বকের পৃষ্ঠ হইতে পেরেকগুলি খুলিয়া ফেল। শেষ পেরেকটিকে লইয়া আবার চুম্বক শলাকার দুই মেরুর কাছে লইয়া যাও। এইবার দুইটি মেরুর উপরই আকর্ষণ হইতেছে দেখা যাইবে। অতএব পেরেকটির চৌম্বক শক্তি লোপ পাইয়াছে।

কোন পেরেককে চুম্বকের মেরুতে না ঠেকাইয়া উহারা কাছাকাছি রাখিলেও পেরেকটি চৌম্বক ধর্ম পায় দেখা যায়।

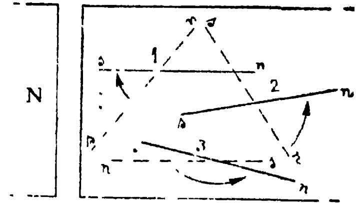
তাহা হইলে দেখ, যতক্ষণ পেরেকটি চুম্বকের কাছে ছিল, ততক্ষণ উহাও

একটি চুম্বক হিসাবে কাজ করিতেছিল। কিন্তু চুম্বক হইতে দূরে সরাইয়া লইলে উহা আবার সাধারণ লোহায় পরিণত হইল। এইরূপে একটি চুম্বকের প্রভাবে কোন চৌম্বক পদার্থকে অস্থায়ী চুম্বকে পরিণত করাকে বলে চৌম্বক আবেশ, এবং এই ভাবে সৃষ্ট চৌম্বক গুণকে বলে আবিষ্ট চুম্বকত্ব। যে মেরুর প্রভাবের ফলে চৌম্বক আবেশ হয় তাহাকে বলা হয় আবেশকারী মেরু (Inducing pole)।

2.4. আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে চৌম্বক আবেশের ব্যাখ্যা :

অচুম্বকিত অবস্থায় চৌম্বক পদার্থের অণুচুম্বকগুলি বদ্ধ শৃংখলের অন্তর্ভুক্ত থাকে বলিয়া বাহিরে উহাদের চৌম্বক শক্তির প্রভাব থাকেনা।

কিন্তু এই চৌম্বক পদার্থটিকে যখন কোন চৌম্বক মেরুর কাছে লইয়া যাওয়া হয় তখন উহা অণুচুম্বকের বিপরীত মেরুগুলির উপরে আকর্ষণ ও সমমেরুগুলির উপরে বিকর্ষণ প্রযোগ করে। ফলে অণুচুম্বক গুলি নিজেদের অবস্থান হইতে ঘুরিয়া যায় এবং এমন অবস্থানে আসে যে উহাদের বিপরীত মেরুগুলি আবেশকারী মেরুর দিকে ফিরিয়া থাকে ও সমমেরুগুলি উল্‌টাদিকে থাকে। ইহার ফলে চৌম্বক পদার্থটির এই প্রান্তে আবেশকারী মেরুর বিপরীত মেরুর সৃষ্টি হয়, ও অপর প্রান্তে সমমেরুর সৃষ্টি হয় (চিত্র নং 2·6)।



2·6

চৌম্বক আবেশ—শৃংখলের অণুগুলি আবেশকারী মেরুর আকর্ষণ ও বিকর্ষণের ফলে ভগ্নরেখার দ্বারা নির্দিষ্ট অবস্থান হইতে ঘুরিয়া পূর্ণরেখা দ্বারা নির্দিষ্ট অবস্থানে গিয়াছে।

কাঁচা লোহার একটি বিশেষ ধর্ম এই যে ইহার শৃংখলগুলি খুব সহজে ভাঙিয়া যায়। সেজন্য কাঁচা লোহার আবিষ্ট চুম্বকত্বের পরিমাণ অতিশয় প্রবল হয়। কিন্তু কাঁচা লোহার অণুগুলি আবার অতিশয় সহজে শৃংখলাবদ্ধ হইতে পারে। সেজন্য আবেশকারী মেরু সরাইয়া লইলে কাঁচা লোহার চুম্বকত্ব নষ্ট হইয়া যায়।

কাঁচা লোহার এই গুণের জন্য ইহার দ্বারা অস্থায়ী চুম্বক নির্মাণ করা হয়। পার্ম্যালয় (Permalloy) নামক সংকর ধাতুর এই গুণ আরও বেশী।

(নরম বা কাঁচা লোহা অর্থে তোমরা মনে করিতে পার যে সেই লৌহ

ছুঁইতে তুলার ন্যায় নরম। প্রকৃতপক্ষে তাহা নহে, ইহার গলণাংক সাধারণ ইস্পাত অপেক্ষা নীচু। ইহার মধ্যে কার্বনের পরিমাণ খুব অল্প থাকে, এবং 3–4% সিলিকন মিশ্রিত থাকে।)

ইস্পাতের শৃংখলগুলি অনেক বেশী দৃঢ়বদ্ধ। সেজন্য ইস্পাতে চৌম্বক আবেশ সৃষ্টি করিতে শক্তিশালী মেরুর প্রয়োজন হয়, কিন্তু কোন রকমে ইস্পাতের অণুশৃংখলগুলিকে ভাঙিয়া ফেলিলে ইহারা আর পুনরায় সহজে শৃংখলাবদ্ধ হইতে পারেনা। সেজন্যই ইস্পাত দ্বারা স্থায়ী চুম্বক প্রস্তুত হয়।

2.5. প্রথম আবেশ, পরে আকর্ষণ (Induction precedes attraction) :

একটি চুম্বক কেন চৌম্বক পদার্থকে আকর্ষণ করে তাহা সহজেই বুঝিতে পারা যায়। চুম্বকটির মেরু বস্তুটির অণুশৃংখলগুলির উপরে চৌম্বক আবেশ প্রয়োগ করিয়া উহাদের ভাঙিয়া ফেলে, এবং অণুগুলির বিপরীত মেরুগুলিকে নিজের মেরুর দিকে ফিরাইয়া লয়। এখন আবেশকারী মেরু ও আবিষ্ট বিপরীত মেরুর আকর্ষণেই চৌম্বক পদার্থটি চুম্বকের দ্বারা আকৃষ্ট হয়।

2.6. চুম্বক প্রস্তুতের পদ্ধতি (Methods of Magnetisation) :

চুম্বক প্রস্তুত করিবার জন্য কোন চৌম্বক পদার্থের প্রয়োজন হয়। সাধারণতঃ বিভিন্ন প্রকারের লৌহই এই কার্যে ব্যবহৃত হয়, কারণ প্রথমতঃ লৌহই শ্রেষ্ঠ চৌম্বক পদার্থ, এবং লৌহের সহিত বিভিন্ন উপাদান মিশাইয়া উহার দ্বারা বিভিন্ন কার্যের জন্য বিভিন্ন প্রকারের চুম্বক প্রস্তুত করা যায়।

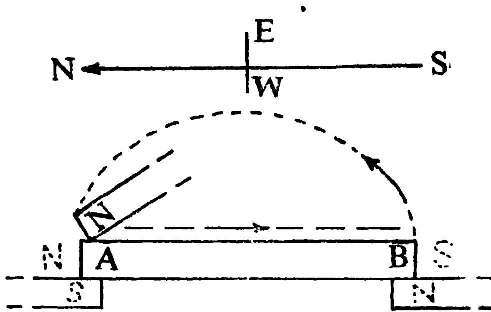
স্থায়ী চুম্বক প্রস্তুত করিবার জন্য টাংষ্টেন ষ্টীল, (অর্থাৎ টাংষ্টেন-মিশ্রিত ইস্পাত—tungsten steel), অ্যালনিকো (Alnico) বা অ্যালুমিনিয়াম, নিকেল, কোবল্ট ও ইস্পাতের সংকর, ষ্ট্যালয় (Stalloy), অর্থাৎ লৌহ ও সিলিকণের সংকর প্রভৃতি ব্যবহৃত হয়। ইহাদের একবার চুম্বকে পরিণত করিলে দীর্ঘদিন ধরিয়া ইহাদের চুম্বকত্ব বজায় থাকে।

চুম্বকীকরণের পদ্ধতি :—সাধারণতঃ দুইটি উপায়ে কোন চৌম্বক পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করা যায়—(a) ঘর্ষণ পদ্ধতি ও (b) তড়িৎ-প্রবাহ দ্বারা।

(a) **ঘর্ষণ পদ্ধতি**—ইহাতে চৌম্বক পদার্থটির উপরে কোন শক্তিশালী চুম্বকের মেরু ঘর্ষণ করিয়া পদার্থটিকে চুম্বকিত করা যায়। ঘর্ষণ পদ্ধতিকে তিনটি প্রণালীতে ব্যবহার করা যায়।

(i) **একক স্পর্শ প্রণালী (Method of Single Touch)**—টেবিলের উপরে একটি সুবিধামত আকারের, যেমন আয়তাকার দণ্ডের আকৃতি বিশিষ্ট

ইস্পাতের টুকরাকে শয়ান অবস্থায় রাখা হয়। একটি শক্তিশালী দণ্ড চুম্বক লইয়া উহার একটি মেরুকে শায়িত দণ্ডের এক প্রান্তে বসাইয়া চুম্বকটিকে দণ্ডের উপর আনত অবস্থায় রাখা হয়। এইবার চুম্বকটি ধীরে ধীরে দণ্ডের উপর দিয়া ঘষিয়া দণ্ডের অপর প্রান্তে লইয়া যাওয়া হয়। ঘর্ষণের সময়ে চুম্বকটি যেন নিজের প্রারম্ভিক অবস্থানের সমান্তরাল ভাবে থাকে। দণ্ডের



2·7

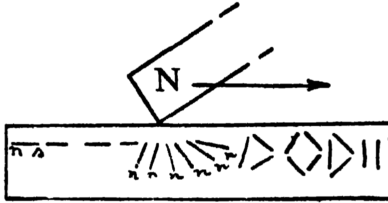
অপর প্রান্তে পৌঁছিলে চুম্বকটিকে উঠাইয়া শূন্য পথে পুনরায় দণ্ডের যে প্রান্তে ঘর্ষণ আরম্ভ হইয়াছিল সেই প্রান্তে লইয়া যাওয়া হয় ও আবার দণ্ডের উপর দিয়া ঘষিয়া অপর প্রান্তে আনা হয়। চুম্বকটিকে যে পথে চালিত করা হয় তাহা চিত্রে দেখানো হইয়াছে। এইরূপে কয়েকবার ঘর্ষণের পর শায়িত দণ্ডটিকে উল্টাইয়া লওয়া হয়, অর্থাৎ উহার উপরের পৃষ্ঠকে নীচে ও নীচের পৃষ্ঠকে উপরে আনা হয়। এই পৃষ্ঠেও পুনরায় একই ভাবে চুম্বকের একই মেরু দ্বারা ঘর্ষণ করা হয়। এই ভাবে দুই পৃষ্ঠে কয়েকবার ঘর্ষণের পর দেখা যাইবে ইস্পাতের দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হইয়াছে। দণ্ডের যে প্রান্তে ঘর্ষণকারী মেরুটি শেষে পৌঁছিল, উহা ঘর্ষণকারী মেরুর বিপরীত মেরুধর্ম পায় ও যে প্রান্তে ঘর্ষণকারী মেরু প্রথম বসে, সেই প্রান্ত ঘর্ষণকারী মেরুর সমমেরুত্ব লাভ করে। অর্থাৎ বলা যায়, দণ্ডটিকে যদি AB বলা হয়, এবং উত্তর মেরু দিয়া উহাকে A প্রান্ত হইতে আরম্ভ করিয়া B প্রান্ত পর্যন্ত ঘর্ষণ করা যায়, তবে দণ্ডের A প্রান্তে উত্তর মেরু ও B প্রান্তে দক্ষিণ মেরুর সৃষ্টি হইবে।

দণ্ডের কোন প্রান্তে যে প্রকৃতির মেরু সৃষ্টি করিতে হইবে, যদি আর কোন চুম্বকের বিপরীত মেরু টেবিলের উপরে রাখিয়া প্রান্তটিকে তাহার উপরে [illegible]

করা যায়, তবে চুম্বকীকরণ দ্রুত হয় ও দণ্ডটি বেশী চৌম্বক শক্তি লাভ করে। তাছাড়া উহাকে উত্তর দক্ষিণমুখী করিয়া বসাইলেও সুফল পাওয়া যায়।

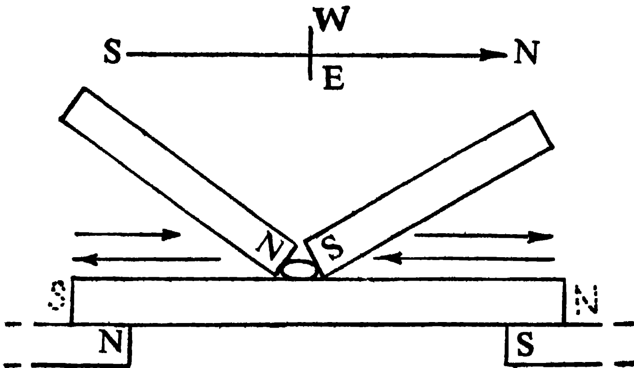
এই প্রণালীতে যে চুম্বক প্রস্তুত করা যায় তাহার শক্তি খুব বেশী হয় না।

আণবিক তত্ত্ব অনুসারে চুম্বকীকরণের ব্যাখ্যা : ঘর্ষণ পদ্ধতিতে কেন চুম্বকীকরণ সম্ভব হয় তাহা আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে বুঝিতে পারা যায়। 2·8 নং চিত্রে দেখ, ঘর্ষণকারী উত্তর মেরু যখন চৌম্বক পদার্থের দণ্ডটির উপর দিয়া চলিয়া যাইতেছে, তখন আবেশের ফলে অণুশৃংখলগুলি ভাঙিয়া গিয়া অণুচুম্বকগুলির দক্ষিণ মেরু উহার দিকে ফিরিতেছে। ইস্পাতের দণ্ডে শৃংখলগুলি ভাঙিয়া গেলে আর অণুগুলি সহজে শৃংখলে ফিরিয়া যাইতে পারে না, সেজন্য অণুগুলি পরস্পর সমান্তরাল অবস্থায়ই থাকিয়া যায় ও দণ্ডটি চুম্বকত্ব লাভ করে।



2·8

(ii) **যুক্ত স্পর্শ পদ্ধতি (Method of double Touch) :** এই পদ্ধতিতে একটির পরিবর্তে একজোড়া মেরু দিয়া পদার্থটিকে ঘর্ষণ করা হয় বলিয়া ইহাকে যুক্ত স্পর্শ পদ্ধতি বলা হয়।



2·9

চৌম্বক পদার্থের দণ্ডটিকে টেবিলের উপর রাখা হয়। দুইটি শক্তিশালী দণ্ড-চুম্বক লইয়া তাহাদের যে কোন দুইটি বিপরীত মেরুকে পাশাপাশি শায়িত

দণ্ডের মাঝখানে বসানো হয়। চুম্বকদুটি দণ্ডের উপর বিপরীত দিকে আনত অবস্থায় থাকে ও উহাদের মেরুদুটির মধ্যে একটি কাঠ বা কর্কের টুকরা দিয়া উহাদের পরস্পর হইতে সামান্য পৃথক করিয়া রাখা হয়। এখন চুম্বকদুটিকে ধরিয়া ঐ অবস্থায় রাখিয়া শায়িত দণ্ডের উপর দিয়া ঘষিয়া উহাদিগকে দণ্ডের এক প্রান্তে লইয়া যাওয়া হয়। সেখান হইতে উহাদের আবার দণ্ডের উপরে ঘষিতে ঘষিতে দণ্ডের অন্য প্রান্তে লইয়া যাওয়া হয়,ও আবার ঘষিয়া মাঝখানে লইয়া আনা হয়। এইভাবে কয়েকবার ঘষিয়া ঘর্ষণ প্রণালী দণ্ডের মাঝখানে শেষ করা হয় যেন দণ্ডের দুই প্রান্তের উপরই মেরুদুটি সমান বার গিয়া থাকে। এখন দণ্ডটিকে উল্‌টাইয়া অর্থাৎ উহার উপরের পৃষ্ঠ নীচে ও নীচের পৃষ্ঠ উপরে আনিয়া সেই পৃষ্ঠের কয়েকবার ঘর্ষণ করিতে হয়।

পরীক্ষাধীন দণ্ডকে যদি দুইটি চৌম্বক মেরুর উপর এমনভাবে রাখা হয় যে উহার যে প্রান্তে যে যে প্রকৃতির মেরু সৃষ্টি হইবে সেই প্রান্ত তাহার বিপরীত-ধর্মী মেরুর উপর বসে তবে চুম্বকীকরণ দ্রুত হয়। ইহা ছাড়া দণ্ডটিকে উত্তর-দক্ষিণমুখী করিয়া বসাইলে আরও ভাল হয়।

দণ্ডের উপরে চুম্বক মেরু দুটি যে ভাবে সাজানো থাকে, দুই প্রান্তে ঠিক তাহার বিপরীত মেরুর সৃষ্টি হয়, অর্থাৎ চুম্বক দুটিকে দণ্ডের কোন প্রান্তে আনিবার সময় যে মেরু উহার উপর থাকিবে সেই প্রান্তে তাহার বিপরীত মেরু হইবে। আণবিকতত্ত্বের সাহায্যে চুম্বকীকরণের ব্যাখ্যা তোমরা সহজে দিতে পারিবে।

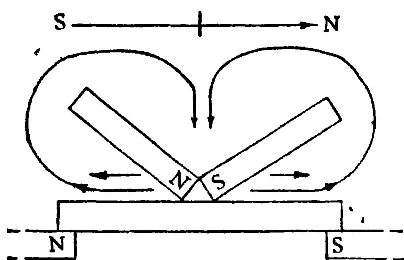
ঘর্ষণকারী মেরু দুটির মধ্যে কাঠ বা কর্কের টুকরা দিয়া ফাঁক করিয়া রাখা হয় কেন? মেরুদুটিকে যদি একসংগে যুক্ত অবস্থায় রাখিয়া দণ্ডটির উপর ঘর্ষণ করা যাইত, তবে অণুচুম্বকগুলির উপর এক সংগে দুইটি বিপরীত মেরুর প্রভাব পড়িয়া পরস্পরকে প্রশমন (neutralise) করিত, ফলে শৃংখলগুলি ভাঙিত না। দুইটির মধ্যে সামান্য ফাঁক থাকে বলিয়া, প্রথম মেরু একটি শৃংখলের উপর দিয়া গিয়া উহাকে ভাঙিয়া দিবার পর, অণুগুলি যখন ভগ্নশৃংখল অবস্থা হইতে শৃংখলবদ্ধ অবস্থায় ফিরিবার প্রচেষ্টা করিতেছে, (কিছু কিছু সক্ষমও হয়) ঠিক তখনই দ্বিতীয় মেরু উহাদের উপর দিয়া চলিয়া উহাদের সে প্রয়াস নষ্ট করিয়া পাকাপাকিভাবে উহাদের সাজাইয়া দেয়। ইহা ছাড়া, 2·9নং চিত্র হইতে বুঝিতে পারিবে, বাম দিক হইতে ডান দিকে যাইবার সময় যখন প্রথমে দক্ষিণ মেরু শৃংখলগুলি ভাঙে;

তখন অণুগুলির উত্তর মেরু ডান দিকে ফিরিয়া থাকে, ও দক্ষিণ মেরু বামদিকে ফিরিয়া থাকে। সেই অবস্থায় উহাদের উপরে ঘর্ষণকারী উত্তরমেরু আসিয়া পড়ায় সাজাইবার কাজ সহজ হইয়া যায়।

চৌম্বক দণ্ডটিকে চৌম্বক মেরুর উপরে রাখা, উত্তর-দক্ষিণ মুখা স্থাপন করিবার সুবিধা তোমরা নিজেরা ভাবিয়া দেখ।

ঘর্ষণের তিনটি পদ্ধতির মধ্যে যুক্ত স্পর্শ পদ্ধতিই শ্রেষ্ঠ। ইহার দ্বারাই সর্বাপেক্ষা শক্তিশালী চুম্বক প্রস্তুত করা যায়।

(iii) **পৃথক স্পর্শ পদ্ধতি (Method of Separate Touch) :** এই পদ্ধতিতেও দণ্ডটিকে দুইটি মেরুর উপর চিত্রে দেখানো অবস্থায় শায়িত রাখা হয় এবং একজোড়া চুম্বকের বিপরীত মেরু পরস্পর পাশাপাশি দণ্ডটির মাঝখানে বসানো হয়। এখন চুম্বকদুটিকে আলাদা করিয়া তীর-চিহ্নিত পথে দণ্ডের উপর দিয়া ঘষিয়া দণ্ডের দুই প্রান্তে লইয়া যাওয়া হয় ও সেখান হইতে উঠাইয়া শূন্য পথে পুনরায় দণ্ডের মধ্য-স্থলে ফিরাইয়া আনা হয়। এইরূপে কয়েকবার ঘষিয়া দণ্ডটিকে উপরের পৃষ্ঠ নীচে ও নীচের পৃষ্ঠ উপরে করিয়া উল্‌টাইয়া সেই পৃষ্ঠে আবার কয়েকবার ঘষা হয়। এই উপায়ে দণ্ডটিকে চুম্বকে পরিণত হয়। দণ্ডটির প্রান্তে ঘর্ষণকারী মেরুর বিপরীত মেরুর সৃষ্টি হয়।

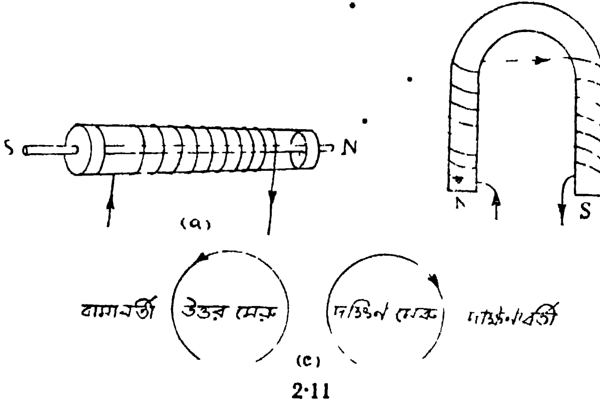


2·10

এই পদ্ধতি একক স্পর্শ পদ্ধতি অপেক্ষা ভাল, কিন্তু যুক্ত স্পর্শ পদ্ধতি অপেক্ষা কম কার্যক্ষম। কারণ যুক্ত স্পর্শ পদ্ধতিতে একটি মেরু অণুশৃংখল ভাঙিয়া দিয়া গেলে সংগে সংগে একটি বিপরীত মেরু আসিয়া অণুগুলিকে সাজাইয়া ফেলে, কিন্তু পৃথক স্পর্শ পদ্ধতিতে তাহা হয় না।

(b) **তড়িৎ প্রবাহের সাহায্যে চুম্বকীকরণ:** চৌম্বক পদার্থের দণ্ডের উপরে তার জড়াইয়া তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করিয়া দণ্ডটিকে চুম্বকে পরিণত করা যায়। প্রকৃতপক্ষে এই পদ্ধতিতেই সমস্ত কৃত্রিম চুম্বক প্রস্তুত হয়—ইহাতে অন্য চুম্বকের প্রয়োজন হয় না, বা ঘর্ষণের জন্য বল প্রয়োগ করিতে হয় না।

2·11. (a) নং চিত্রে একটি ইস্পাতের দণ্ডকে চুম্বকীকরণের প্রণালী দেখানো হইয়াছে। দণ্ডটিকে একটি কাচের নলের মধ্যে রাখিয়া নলের উপরে তার জড়ানো হয়। এখন এই তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত



2·11

তড়িৎ প্রবাহেব সাহায্যে চুম্বকীকবণ

করিলে কিছুক্ষণ পরে দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হয়। চুম্বকটির শক্তি তড়িৎ প্রবাহ ও তারটি কয়েক পাক জড়ানো হইল তাহার সংখ্যার উপর নির্ভর করে।

তড়িচ্চুম্বকের বিশেষ প্রয়োগ হয় অস্থায়ী চুম্বকত্বের ক্ষেত্রে। এই চুম্বকের চুম্বকত্ব প্রয়োজনানুসারে সৃষ্টি বা লোপ করা যায়। ইস্পাতের বদলে 2·11 (a) নং চিত্রে নরম লোহার দণ্ড ব্যবহার করিলে, যতক্ষণ জড়ানো তারের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহ থাকিত ততক্ষণই দণ্ডটি চুম্বক থাকিত। 2·11 (b) নং চিত্রে একটি অশ্বখুরাকৃতি তড়িচ্চুম্বকের ক্ষেত্রে কিভাবে তার জড়ানো হয় ও তড়িৎ প্রবাহিত হয় তাহা দেখিতে পাইবে। লক্ষ্য কর, দণ্ডের দুই বাহুতে তারের গতি বিপরীত মুখী।

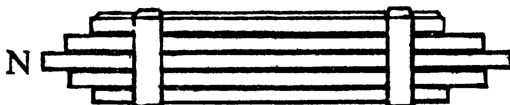
শিল্পজগতে, বিশেষতঃ ইস্পাতের কারখানায় অস্থায়ী তড়িৎ চুম্বকের ব্যাপক ব্যবহার হয়। ভারী ভারী লৌহের পিণ্ডকে লোক বা গাড়ীর সাহায্যে না সরাইয়া উপর হইতে শক্তিশালী তড়িচ্চুম্বকের সাহায্যে আকৃষ্ট করিয়া তাহার মেরুতে আঁটিয়া লওয়া হয় ও সেই অবস্থায় তড়িৎচুম্বককে কারখানার ছাদে অবস্থিত ট্রলির সাহায্যে অন্যত্র লইয়া যাওয়া হয়। নির্দিষ্ট স্থানে লইয়া গিয়া চুম্বকের তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করিয়া দিলে উহার চুম্বকত্ব লোপ পায় ও লৌহ পিণ্ডটি আলগা হইয়া চুম্বকের মেরু হইতে খসিয়া পড়ে।

2·11 (c) নং চিত্রে তড়িচ্চুম্বকের কোন প্রান্তে কিরূপ মেরু সৃষ্টি হইবে তাহা দেখানো হইয়াছে। 2·11 (a) নং চিত্রে দণ্ড চুম্বকের ক্ষেত্রে তোমরা যদি দণ্ডের বামপ্রান্ত হইতে উহাকে লক্ষ্য কর তবে তড়িৎপ্রবাহ বামাবর্তী (anticlockwise) বলিয়া মনে হইবে—সেই প্রান্তে উত্তর মেরু হইবে। দণ্ডের দক্ষিণ প্রান্ত হইতে লক্ষ্য করিলে তড়িৎপ্রবাহ দক্ষিণাবর্তী (clockwise) মনে হইবে, এবং দণ্ডের সেই প্রান্তে দক্ষিণ মেরু হইবে। 2·11 (b) নং চিত্রে অশ্বখুর তড়িৎ চুম্বকেও একই প্রণালীতে মেরু নির্দিষ্ট হয়।

2.7. চৌম্বক সংপৃক্তি (Magnetic Saturation) ঃ একটি ইস্পাতের দণ্ডকে ঘর্ষণের সাহায্যে চুম্বকীকরণ করিতে থাকিলে প্রথমে অল্প কয়েকবার ঘর্ষণের পরে পরীক্ষায় দেখা যায় যে উহার মধ্যে সামান্য চুম্বকত্বের সঞ্চার হইয়াছে। যত বেশীবার উহাকে ঘর্ষণ করা যায় উহার চৌম্বক শক্তি ততই বাড়িতে থাকে। কিন্তু এই চৌম্বক শক্তির বৃদ্ধির একটি সীমা আছে। দণ্ডটির চৌম্বক শক্তি এই সীমায় পৌঁছিলে উহাকে আর যতই ঘর্ষণ করা যাক্ না কেন উহার শক্তি আর বাড়ে না। তখন আমরা বলি উহার চৌম্বক সংপৃক্তি ঘটিয়াছে।

আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে চৌম্বক সংপৃক্তির ব্যাখ্যা করা যায়। চিত্র নং 2·3.তে চুম্বকীকরণের সময়ে ইস্পাতের দণ্ডটির তিনটি অবস্থা দেখানো হইয়াছে। অচুম্বকিত অবস্থায় উহার অণুচুম্বকগুলি বদ্ধশৃংখলে সাজানো থাকে। চুম্বক দ্বারা ঘষিলে উহার শৃংখলগুলি ভাঙিতে থাকে। প্রথমে উহার পৃষ্ঠের কাছাকাছি শৃংখলগুলি মাত্র ভাঙে, কিন্তু ভিতরের শৃংখলগুলি অটুট থাকে। এই অবস্থায় উহা চুম্বক হয় বটে, কিন্তু উহার চৌম্বক শক্তির পূর্ণ বিকাশ হয় না। ক্রমে ক্রমে যখন উহার সমস্ত শৃংখলগুলি ভাঙিয়া যায়, তখন উহার পূর্ণ চুম্বকন হয় ও উহা সংপৃক্ত হয়।

2.8. স্তরিত চুম্বক (Laminated Magnets) ঃ একটি পুরু চৌম্বক



স্তরিত চুম্বক

2·12

পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করিবার সময়ে উহার একেবারে ভিতরকার

অণুশৃংখলগুলি ভাঙা খুব কষ্টকর হয়; ঘর্ষণকারী চুম্বক বা দণ্ডটির চারিপাশে সঞ্চালিত তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক শক্তি দণ্ডটির একেবারে ভিতরে গিয়া প্রভাব বিস্তার করিতে পারে না। সেজন্য এইরূপ দণ্ড দ্বারা যত শক্তিশালী চুম্বক প্রস্তুত সম্ভব ততটা শক্তিশালী চুম্বক সৃষ্টি করা সম্ভব হয় না।

এই কারণে খুব শক্তিশালী চুম্বক স্তর-বিভক্ত ভাবে প্রস্তুত করা হয়। পাতলা পাতলা চৌম্বক পদার্থের কয়েকটি পাত লইয়া প্রতিটি পাতকে পৃথক-ভাবে চুম্বকীকৃত করা হয়। পাতাগুলি পাতলা হওয়ায় উহাদের সহজে চৌম্বক শক্তিকে সংপৃক্ত করা যায়। প্রথম এইরূপ কয়েকটি পাতলা চুম্বককে উপর উপর সাজাইয়া তার বা লোহার টুকরা দিয়া বাঁধিয়া লইলে একটি শক্তিশালী চুম্বক পাওয়া যায়, এই চুম্বকটি সংপৃক্ত। বুঝিতেই পার পাতগুলিকে সাজাইবার সময়ে উহাদের সমপ্রকৃতির মেরুগুলিকে একদিকে রাখা হয়।

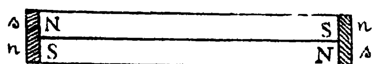
অস্থায়ী শক্তিশালী তড়িৎচুম্বকের বেলায় সর্বদা এইরূপ স্তর-বিভক্ত কাঁচা লোহার পাত লওয়া হয়।

2.9. **ম্যাগনেটোস্ট্রিকশন (Magnetostriction) ঃ** একটি চৌম্বক পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করিলে উহার অণুশৃংখলগুলি ভাঙিয়া যায়, ফলে স্বভাবতঃই উহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ইত্যাদির পরিবর্তন হয়। চুম্বকীকরণের ফলে চৌম্বক পদার্থের আকারের এই বিকৃতিকে ম্যাগনেটোস্ট্রিকশন বলে।

একটি ইস্পাতের দণ্ড চুম্বকীকরণের ফলে দৈর্ঘ্যে প্রায় $\frac{1}{80,000}$ পরিমাণ বৃদ্ধি পাইতে পারে।

2.10. **চৌম্বক-রক্ষক (Magnetic Keepers) ঃ**

একটি চুম্বকের মেরুতে উহার অণুচুম্বকগুলির সম-মেরু পাশাপাশি থাকে। ফলে একটি মেরু উহার পার্শ্ববর্তী সমমেরুর উপরে বিকর্ষণী বল প্রয়োগ করিয়া উহাকে ঘুরাইয়া দিতে চেষ্টা করে।

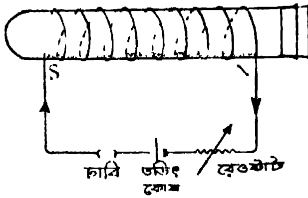


2·13

এই চেষ্টার ফলে অণুগুলির পুনরায় বদ্ধ-শৃংখলে ফিরিয়া যাইবার সম্ভাবনা দেখা দেয়, অর্থাৎ চুম্বক-টির চৌম্বকশক্তির বিলোপের সম্ভাবনা থাকে। এই প্রণালীকে আত্ম-বিচুম্বকন

(Self-demagnetisation) বলে। আত্ম-বিচুম্বকনের জন্য চুম্বকের চুম্বকত্ব দিনে দিনে কমিয়া যায়। আত্মবিচুম্বকন রোধ করিবার জন্য ব্যবহারের সময় ছাড়া অন্য সময়ে চিত্রে প্রদর্শিত ব্যবস্থায় চুম্বককে রাখা হয়। দুইটি একই প্রকারের চুম্বককে উপর উপর বিপরীত মেরু সংলগ্ন বা নিকটবর্তী সাজানো হয়। অতঃপর প্রতি জোড়া মেরুর গায়ে একটি কাঁচা লোহার পাত ঠেকাইয়া রাখা হয়। এই কাঁচা লোহার টুকরাকে চৌম্বক-রক্ষক বলে। কাঁচা লোহার ভিতরে উহার সংলগ্ন মেরুর বিপরীত মেরুর আবেশ হয়। এই আবিষ্ট মেরু চুম্বকটির মেরুর উপরে আকর্ষণী বল প্রয়োগ করে বলিয়া উহারা আত্মবিচুম্বকনের প্রকোপ হইতে রক্ষা পায়।

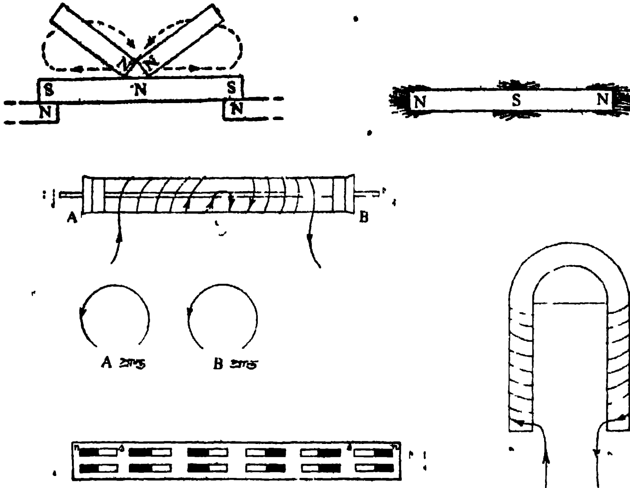
2.11. **একটি পরীক্ষা—আণবিক তত্ত্বের প্রমাণ :** একটি টেষ্ট টিউবে কিছু লৌহ-চূর্ণ লও। টেষ্ট টিউবের গায়ে একটি তামার তার জড়াইয়া একটি চাবীর (Key) সাহায্যে উহার দুইপ্রান্ত একটি তড়িৎ-কোষ ও একটি রোধের (resistance) সহিত যুক্ত কর। টেষ্ট টিউবটিকে অনুভূমিক অবস্থায় রাখিয়া লৌহচূর্ণকে উহার দৈর্ঘ্য বরাবর সাজাইয়া নাও। টেষ্ট টিউবকে আস্তে আস্তে টোকা দিয়া এইরূপ করা যায়। সাবধানে টেষ্ট টিউবকে টেবিলের উপর অনুভূমিক অবস্থায় রাখ। চাবি বন্ধ করিয়া তারের মধ্যে কিছুক্ষণ তড়িৎ প্রবাহিত কর এবং টেষ্টটিউবকে আস্তে আস্তে টোকা দিতে থাক। সাবধানে তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ কর যেন টেষ্টটিউবের সামান্যতম কম্পনও না হয়। একটি চুম্বক শলাকা আনিয়া পরীক্ষা করিলে দেখিবে লৌহ চুর্ণের রেখাটি চুম্বকের ন্যায় ব্যবহার করিবে। এইবার টেষ্ট টিউবকে তুলিয়া ঝাঁকাইয়া আবার উহার চুম্বকত্ব পরীক্ষা কর। দেখিবে চুম্বকত্ব লুপ্ত হইয়াছে।



2·14

তড়িৎ প্রবাহের সাহায্যে প্রতিটি লৌহ কণা এক একটি চুম্বকে পরিণত হইয়াছিল, টোকা দিয়া উহাদের শ্রেণীবদ্ধ হইতে সাহায্য করা হয়। ফলে উহারা একটি চুম্বক হিসাবে কাজ করে। পরে উহাদের যখন ঝাঁকানো হয় তখন উহারা এলোমেলো ভাবে সজ্জিত হইয়া কয়েকটি বদ্ধ শৃংখল রচনা করিয়া ফেলে, ফলে উহাদের চুম্বকত্ব লোপ পায়।

2.12. উপমেরু (Consequent Poles): কোন চৌম্বক পদার্থকে চুম্বকের সময়ে যদি চুম্বকনের রীতি ঠিকমত অনুসরণ না করা যায় তবে চুম্বকের মেরুর অবস্থান নূতন ধরণের হয়।



2·15
উপমেরুর সৃষ্টি

পরীক্ষা: একটি ইস্পাতের দণ্ডকে দুটি চৌম্বক মেরুর উপরে চুম্বকীকরণের জন্য বসাও। দুইটি দণ্ডচুম্বক লইয়া ইস্পাতদণ্ডের কেন্দ্রস্থলে উহাদের উত্তর মেরুকে পাশাপাশি বসাও। এইবার বিচ্ছিন্ন স্পর্শ পদ্ধতি অনুসারে ইস্পাতের দণ্ডটিকে চুম্বকিত কর। প্রকৃত পদ্ধতি হইতে এই প্রণালীর পার্থক্য এই যে এখানে ব্যবহৃত চুম্বকদণ্ডদুটির সম-মেরু ইস্পাতের দণ্ডের মধ্যস্থলে বসানো হইয়াছে। চুম্বকীকরণ শেষ হইলে দেখিবে যে ইস্পাতের দণ্ডের দুই প্রান্তে দক্ষিণ মেরু ও মধ্যস্থলে উত্তর মেরু সৃষ্টি হইয়াছে। লৌহ চূর্ণে এই চুম্বককে ডুবাইলে উহার দুই প্রান্তেই শুধু নয়, মধ্যস্থলেও লৌহচূর্ণ আকৃষ্ট হইবে। দণ্ডের মধ্যস্থলে যে মেরুর সৃষ্টি হয় উহাকে উপমেরু বলে।

ঘর্ষণ পদ্ধতি ছাড়া, তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা চুম্বকীকরণ করিয়াও উপমেরুর সৃষ্টি করা যায়। এখানে তড়িৎ-বাহী তারকে এমন ভাবে জড়াইতে হয় যে চৌম্বক পদার্থের দুই প্রান্তেই তাকাইলে তড়িৎপ্রবাহের দিক একরূপ বলিয়া মনে হয়। চিত্রে দণ্ডের A ও B প্রান্তের দিকে তাকাইলে তড়িৎ-প্রবাহ সমাবর্তী

বলিয়া মনে হইবে। ফলে দুই প্রান্তে উত্তর মেরুর সৃষ্টি হইবে। 2·15 নং চিত্রের নীচে ডানদিকে অশ্বখুর চুম্বকে সমমেরু সৃষ্টির প্রণালী দেখানো হইয়াছে। সর্বনিম্নের চিত্রে সমমেরু সৃষ্টি হইলে চুম্বকের ভিতরে অণুগুলির সজ্জা কিরূপ হইবে তাহা দেখিতে পাইবে।

উপমেরু বেশীদিন স্থায়ী হয় না। চুম্বকদণ্ডের মধ্যস্থলে অণুগুলির সমমেরু পরস্পর সান্নিধ্যে থাকায় পরস্পরের বিকর্ষণের সাহায্যে বদ্ধশৃংখলে ফিরিতে চেষ্টা করে এবং ফলে আত্মবিচুম্বকন হয়।

একটি চৌম্বকদণ্ডের কাছে যদি একটি শক্তিশালী চুম্বকদণ্ড অতিশয় দ্রুত আনা হয় যেন চুম্বকটির মেরু চৌম্বক দণ্ডের মধ্যের কোন বিন্দুর খুব কাছে চলিয়া আসে, তবে চৌম্বকদণ্ডের সেই বিন্দুতে উপমেরুর সৃষ্টি হয়। এজন্য একটি কম্পাস কাঁটার কাছে খুব দ্রুত কোন চৌম্বক দণ্ড আনিতে নাই। কম্পাস কাঁটার মধ্যে উপমেরুর সৃষ্টি হইলে দিগ্‌দর্শি হিসাবে উহার কোন মূল্য থাকিবে না।

2.13. বিচুম্বকন (Demagnetisation) :

কোন চুম্বকের চৌম্বকধর্মের বিলুপ্তি বা হ্রাসকে বিচুম্বকন বলে। চুম্বকত্ব নিম্নলিখিত কারণে হ্রাস বা লোপ পায়।

(i) চুম্বককে আঘাত করিলে বা মোচড় দিলে উহার চুম্বকত্ব নষ্ট হয়।

(ii) চুম্বককে উত্তপ্ত করিলে উহার চুম্বকত্ব ক্রমে হ্রাস পাইতে থাকে। পরে উহাকে যদি ঠাণ্ডা করা যায়, দেখা যায় যে উহার পুরাতন চৌম্বক-শক্তি ফিরিয়া আসে না।

চুম্বককে উত্তপ্ত করিতে করিতে যখন উহার তাপমাত্রা 700° সে., অপেক্ষা বেশী করা হয়, তখন উহার মধ্যে যেটুকু চৌম্বক-শক্তি ছিল তাহা হঠাৎ সম্পূর্ণ লুপ্ত হয়। শুধু তাই নয়, এই তাপমাত্রা বা উহার উপরে চৌম্বক-পদার্থের যে ধর্ম, অর্থাৎ চুম্বক দ্বারা আকর্ষণ, তাহাও থাকে না। এই বিশেষ তাপমাত্রাকে ক্যুরি বিন্দু (Curie Point) বলে।

তাপমাত্রা কমাইতে থাকিলে ক্যুরি বিন্দুতে পদার্থটি নিজের চৌম্বক-পদার্থ সুলভ ধর্ম ফিরিয়া পায়, কিন্তু চুম্বকত্ব আর ফিরিয়া পায় না।

(iii) যদি দুটি চুম্বককে এমন ভাবে রাখা হয় যে দুইটির সমমেরু পাশাপাশি থাকে, তবে একটি মেরু অন্যটির উপর বিপরীত মেরু আবিষ্ট করে। ফলে উভয়েরই চুম্বকত্ব হ্রাস পায়।

(iv) একই কারণে, একটি চুম্বককে যদি (উত্তর-গোলার্ধে) এমনভাবে খাড়া করিয়া রাখা হয় যে উহার দক্ষিণ-মেরু নীচের দিকে থাকে, তবে পৃথিবীর দ্বারা আবিষ্ট বিপরীত চুম্বকত্বের জন্য উহার বিচুম্বকন হয়।

2.14. আণবিক তত্ত্ব অনুসারে বিচুম্বকনের ব্যাখ্যা (Explanation of loss of magnetism according to molecular theory) :

চুম্বকের মধ্যে অণুচুম্বকগুলি সমান্তরাল সজ্জায় থাকে। আবার পদার্থের গতীয় তত্ত্ব (Kinetic theory of matter) নামক এক নীতি বলে যে পদার্থের সমস্ত অণুই সর্বদা কম্পমান। কোন পদার্থের তাপ যত বাড়ে, উহার অণুগুলির কম্পনও তত বাড়ে।

এখন, সমান্তরাল সজ্জায় সজ্জিত অণুগুলি পাশাপাশি পরস্পরে বিকর্ষণ করিতেছে। সুতরাং উহারা আবার বদ্ধশৃংখলে ফিরিয়া যাইতে চাহে। কোন কারণে অণুগুলির কম্পনকে বাড়াইয়া দিলে উহাদের বদ্ধশৃংখলে ফিরিয়া যাওয়া সহজ হয়। সেজন্যই আঘাত করিলে বা তপ্ত করিলে চুম্বকের চুম্বকত্ব হ্রাস পায়।

আবেশে বিপরীত ধর্মী মেরুত্বের আবেশ হইলেও অণুগুলির বদ্ধশৃংখলে ফিরিয়া যাইবার প্রয়াস সহজতর হয়। সেজন্যই অন্য চুম্বক বা পৃথিবীর চুম্বকের প্রভাবেও চুম্বকের মেরু-শক্তি হ্রাস পায়।

পিয়ের কুরি (Pierre Curie) 1859-1906 :—প্যারীর এক চিকিৎসকের পুত্র পিয়ের কুরি তরুণবয়স হইতেই বিজ্ঞানের গবেষণায় প্রবৃত্ত হন। বাইশ বৎসর বয়সে তিনি প্যারির ব্যবহারিক পদার্থ বিজ্ঞানের এক বিদ্যালয়ের শিক্ষক নিযুক্ত হন। পিয়ের কুরি তড়িৎবিজ্ঞান ও চুম্বক সম্বন্ধে গবেষণা করিতেন। তিনি আবিষ্কার করেন যে বিভিন্ন পদার্থের চৌম্বক গুণ উহার চরম তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। প্রায় 700° সে. তাপমাত্রায় পদার্থের চৌম্বক ধর্মের বিলুপ্তি হয়। এই তাপমাত্রাকে তাঁহার নামে কুরি তাপমাত্রা বলা হয়। পিজো ইলেকট্রিসিটি নামক বিশেষ তড়িৎ ধর্মও তাহার আবিষ্কার।

পিয়ের কুরির স্ত্রী মারি কুরি রেডিও অ্যাকটিভিটি সম্বন্ধে গবেষণা করিতেছিলেন। তাঁহার গবেষণা নূতন পথের সন্ধান পাইতেছে দেখিয়া পিয়ের নিজের গবেষণা ছাড়িয়া স্ত্রীর সহিত যোগ দেন ও কঠোর দারিদ্র্যের মধ্যে সংগ্রাম করিয়া পোলোনিয়াম (Polonium), রেডিয়াম (Radium) ও অ্যাকটিনিয়াম (Actinium) আবিষ্কার করেন।

1903 খৃষ্টাব্দে কুরি দম্পতি ডেভী স্বর্ণপদক ও নোবেল প্রাইজ লাভ করেন। 1910 খৃষ্টাব্দে মারি কুরি আবার নোবেল পুরস্কার পান। 1906 খৃষ্টাব্দে এক দুর্ঘটনায় পিয়ের কুরির মৃত্যু হয়। কুরি দম্পতির কন্যা ইরিন ও জামাতা জোলিও কুরিও বিখ্যাত বিজ্ঞানী।

প্রশ্নমালা

1. একটি দণ্ড চুম্বককে ভাঙিলে কি দেখা যাইবে? যাহা দেখিবে তাহাকে কিভাবে ব্যাখ্যা করা যায়?

What will happen when a bar magnet is broken? How can you explain the phenomenon observed? (H.S. 1961; Pat. 1932)

2. চুম্বকত্বের আণবিক তত্ত্বের বর্ণনা দাও।

Discuss the molecular theory of magnetism. (C. U. 1932)

3. চৌম্বক আবেশ কাহাকে বলে, কোন পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও। আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে কিভাবে চৌম্বক আবেশের ব্যাখ্যা করা যায়?

Explain, with the help of a suitable experiment what you mean by magnetic induction. (C. U. 1920, 44, Dac. 1928; Pat. 1936.

How can magnetic induction be explained on the basis of molecular theory?

4. ব্যাখ্যা কর—

প্রথমে আবেশ, পরে আকর্ষণ।

Explain,—

Induction precedes attraction.

5. একটি ইস্পাতের দণ্ডকে চুম্বকিত করিবার বিভিন্ন পদ্ধতি সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

Describe briefly the different methods of magnetising a steel bar. (C. U. 1920, 42, 52; H. S. 1960; Pat. 1923; Dac. 1932, 33)

6. একটি লোহের দণ্ডকে চুম্বকিত করিবার একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর। আণবিক তত্ত্বের ভিত্তিতে পদ্ধতিটির ব্যাখ্যা দাও।

Describing any method of magnetising a piece of iron. Explain how the method works on the basis of molecular theory. (C. U. 1958)

7. তড়িৎচুম্বক কি? ইহার কয়েকটি ব্যবহার বর্ণনা কর।

What is an electromagnet? (C. U. 1958)
Describe some of its uses.

8. একটিমাত্র মেরু-বিশিষ্ট চুম্বক সৃষ্টি করা যায় না—এই মন্তব্যের কারণ কি?

What leads to the remark that a magnet with a single pole cannot be produced? (C. U. 1930)

9. আণবিক তত্ত্বের সমর্থনে কতকগুলি ঘটনার বর্ণনা দাও।

Describe some phenomena in support of the molecular theory.

10. একটি চৌম্বক পদার্থের দণ্ডকে তড়িৎ প্রবাহের দ্বারা চুম্বকিত করা হইতেছে। প্রবাহের মাত্রা অল্প হইতে বাড়ানো হইলে চুম্বক শক্তির কিরূপ পরিবর্তন হইবে ব্যাখ্যা সহকারে বর্ণনা কর।

A magnetic substance is being magnetised by electric current. If the current is increased from a small value, how will the magnetism change? Explain your answer.

11. চৌম্বক সম্পৃক্তি, ম্যাগ্‌নেটোস্ট্রিকশন, আঘাত ও তাপের দ্বারা বিচুম্বকন—ইহাদের অর্থ কি? আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে ইহাদের কিরূপে ব্যাখ্যা করা যায়?

What is meant by—Megnetic saturation, Magnetostriction, Demagnetisation by shock and heat? How can molecular theory explain them?

12. চৌম্বক রক্ষক কাহাকে বলে? একটি অশ্বখুর চুম্বকের মেরু দুটির মধ্যে চৌম্বক রক্ষক রাখিলে উহার চৌম্বক ধর্ম বেশীদিন থাকে কেন?

What is a magnetic keeper? Why does a horse-shoe magnet retain its magnetism better when a magnetic keeper is placed between its poles? (C. U. 1961)

13. উপমেরু কাহাকে বলে ?

একটি চুম্বক-শলাকার উত্তর মেরুকে একটি দণ্ড-চুম্বকের দুই প্রান্তের কাছে লইয়া গেলে দুইবারই বিকর্ষণ হইল। ইহার কারণ বর্ণনা কর।

What is meant by "Consequent pole" ? (Pat. 1946)

The north pole of a compass needle, when taken near the ends of a bar magnet, was found to be repelled at both ends. Explain the cause. (C. U. 1947)

14. একটি চুম্বক শলাকার উত্তর মেরুকে কোন শক্তিশালী চুম্বক-দণ্ডের উত্তর মেরুর কাছে ধীরে ধীরে লইয়া গেলে বিকর্ষণ হয়। কিন্তু উহাকে খুব দ্রুত লইয়া গেলে উহা আকৃষ্ট হয়। কেন ?

The N-pole of a needle compass, when brought gradually near the N-pole of a strong bar-magnet, is found to be repelled. But when the needle is taken very swiftly to the bar magnet, the N-pole is found to be attracted. Explain.

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

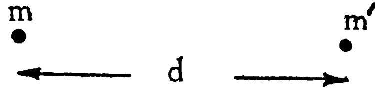
বিভিন্ন চৌম্বক রাশি

(Different Magnetic Quantities)

3.1. চুম্বক-তত্ত্বের আলোচনায় বিভিন্ন রাশির প্রসংগ আসিয়া পড়ে। কোন চুম্বকের মেরু হইতে দ্বিতীয় কোন চুম্বকের মেরু যদি অধিকতর শক্তিশালী হয়, তবে এই শক্তির অনুপাত জানিতে গেলে চুম্বকের মেরুশক্তি (Pole-Strength) মাপিবার একক নির্দেশ করিতে হয়। একটি চৌম্বক মেরুর কাছে অন্য চৌম্বক মেরু আনিলে তাহার উপর আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বল প্রযুক্ত হয়; এই বলের পরিমাণ কতটুকু, মেরু হইতে কতদূর পর্যন্ত এই বলের প্রাবল্য আছে তাহাও জানিবার প্রয়োজন হয়, এবং এই প্রসংগে চৌম্বক বলক্ষেত্রের (Magnetic field) কথা আসিয়া পড়ে। এইরূপ আরও বিভিন্ন বিষয় জানিয়াই চুম্বক-তত্ত্বের আলোচনা সম্পূর্ণ হইতে পারে।

3.2. **চৌম্বক মেরুর আকর্ষণ ও বিকর্ষণের সূত্র (Law of attraction and repulsion between magnetic poles) :**

দুইটি চৌম্বক মেরু পরস্পরের সান্নিধ্যে থাকিলে উহাদের একটি অপরটির উপর আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বল প্রয়োগ করে। মেরু দুইটি সম-প্রকৃতির হইলে উহাদের মধ্যে বিকর্ষণ ও বিপরীত ধর্মী হইলে আকর্ষণ হইবে।



3·1

এই আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বলকে দুইটি সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়।

মনে কর, মেরু দুইটির শক্তির (Strength) পরিমাণ যথাক্রমে m এবং m', এবং উহাদের পারস্পরিক দূরত্ব d। প্রসংগতঃ মনে রাখিও মেরুশক্তির পরিমাণের কোন একক আমাদের এখনও জানা হয় নাই, তবে ধরিয়া লওয়া যাক্, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ মেরু হইতে প্রথম মেরুটি m গুণ ও অপরটি m' গুণ শক্তিশালী।

তাহা হইলে, মেরু দুইটির মধ্যে বল যদি F হয় তবে স্বভাবতঃই m বা m' কিংবা উভয়েরই পরিমাণ যত বেশী হইবে F-এর পরিমাণও ততই বাড়িবে। আবার মেরু দুইটির মধ্যে দূরত্ব যত বাড়িবে, এই বল ততই কমিতে থাকিবে।

এই বলকে আমরা দুইটি সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করিতে পারি,—

(i) দুইটি চৌম্বক মেরুর মধ্যের দূরত্ব নির্দিষ্ট থাকিলে, উহাদের মধ্যে আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বল মেরু দুইটির শক্তির সমানুপাতী।

অতএব, বল F হইলে ও মেরু দুইটির শক্তি m এবং m' হইলে, যদি উহাদের পারস্পরিক দূরত্ব d স্থির থাকে, তবে

$$F \propto m \times m'$$ ।

(ii) নির্দিষ্ট শক্তি-বিশিষ্ট দুইটি চৌম্বক মেরুর মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ উহাদের মধ্যের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতী।

অর্থাৎ, m ও m' স্থির থাকিলে,

$$F \propto \frac{1}{d^2}$$ ।

এই সূত্রটিকে কুঁল'র ব্যস্তানুপাতিক বর্গসূত্র (Coulomb's Law of Inverse Square) বলে।

অতএব, দুইটি সূত্রকে মিলাইয়া, আমরা বলিতে পারি যে m, m' ও d পরিবর্তিত হইলে, বল

$$F \propto \frac{mm'}{d^2}$$ ।

সুতরাং $$F = K\frac{m\,m'}{d^2}$$ [K—অনুপাতের ধ্রুবক]।

K ধ্রুবকের মান মেরু দুইটির মধ্যে যে মাধ্যম রহিয়াছে তাহার উপর নির্ভর করে। মেরু দুইটির মধ্যে যদি শূন্য বা বাতাস থাকে, তবে K-এর মান 1 হয়, কিন্তু উহাদের মধ্যে অন্য কোন মাধ্যম থাকিলে K-এর মান 1 অপেক্ষা কম হয়। যেহেতু K-এর বৃহত্তম মান 1 হয় এবং বাকী সমস্ত মান 1 অপেক্ষা কম হয়, সেজন্য K-কে অন্য আর একটি ধ্রুবক μ-এর বিপরীত (reciprocal), অর্থাৎ $\frac{1}{\mu}$ হিসাবে প্রকাশ সুবিধাজনক, কারণ তাহা হইলে μ-এর মান 1 বা তদপেক্ষা বেশী হইবে। μ-কে মাধ্যমের প্রবেশ্যতা (permeability) বলে।

সুতরাং (i) নং সমীকরণকে $F = \frac{1}{\mu} \frac{mm'}{d^2}$ ... ... (ii)

লেখা হয়।

আমরা সাধারণতঃ মেরু দুইটির মধ্যের মাধ্যমকে বাতাস ধরিয়া লইব, অতএব $K = \frac{1}{\mu} = 1$ হইবে।

তাহা হইলে সাধারণভাবে (ii) নং সমীকরণ হইয়া দাঁড়ায়

$$F = \frac{mm'}{d^2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(iii)}$$

একটি বিষয় মনে রাখিও ; — m মেরু m' মেরুর উপর যে বল প্রযোগ করে m' মেরুও m মেরুর উপর সেই পরিমাণ বল প্রযোগ করে, কারণ নিউটনের তৃতীয় বল-সূত্র অনুসারে উহাদের একটি বল ও তাহার প্রতিক্রিয়া সমান হইবে।

3.3. একক মেরুশক্তি (Unit Pole-Strength) :

উপরের (iii) নং সমীকরণ হইতে আমরা একক মেরু ও তাহার শক্তির মান স্থির করিতে পারি।

মনে কর, আমরা দুইটি সমশক্তি বিশিষ্ট মেরুকে যাহাদের শক্তির মান m পরস্পর হইতে d দূরত্বে রাখিলাম : তাহা হইলে উহাদের মধ্যে বল

$$F = \frac{m.\ m}{d^2}\ ।$$

এখন মেরু দুইটির শক্তি যদি এমন হয় যে উহারা পরস্পর হইতে 1 সেমি. দূরে থাকিলে পরস্পরের উপর 1 ডাইন বল প্রয়োগ করে তাহা হইলে, উপরের সংকেতে d ও F এর মান প্রয়োগ করিলে আমরা পাই

$$1 = \frac{m.\ m.}{1},$$

$$\therefore \quad m = 1\ ।$$

সংজ্ঞা : যে মেরু সমশক্তি বিশিষ্ট আর একটি মেরু হইতে বাতাসে 1 সেমি. দূরে থাকিয়া উহার উপর 1 ডাইন বল প্রয়োগ করে, সেই মেরুকে একক মেরু ও উহার শক্তিকে একক মেরুশক্তি বলা চলে। বিজ্ঞানী ওয়েবারের নামানুসারে মেরুশক্তির এককক 1 ওয়েবার (1 Weber) বলা চলে। তবে সাধারণতঃ

এই এককের ওয়েবার নাম অপ্রচলিত, ইহাকে 1 C. G. S. একক মেরু বা একক মেরু (unit pole) নামেই প্রকাশ করা হয়।

দুইটি মেরুর মধ্যে বল আকর্ষণী বা বিকর্ষণী হইবে তাহা মেরুর প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। বল যেহেতু ভেক্টর রাশি অতএব বৈজ্ঞানিক হিসাবে একই পরিমাণ আকর্ষণী বল ও বিকর্ষণী বলকে সম্পূর্ণ ভিন্ন ধরা হয়, কারণ উহাদের অভিমুখ ভিন্ন হয়। বলের অভিমুখ মেরুর প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। সাধারণতঃ উত্তর মেরুকে ধনাত্মক (positive) ও দক্ষিণ মেরুকে ঋণাত্মক (negative) ধরিয়া লওয়া হয়। একক মেরু বলিতে প্রকৃতপক্ষে একক উত্তরমেরুই বুঝায়।

3.4. বাতাস বা শূন্যের চৌম্বক প্রবেশ্যতা 1 হয়। চৌম্বক পদার্থের চৌম্বক প্রবেশ্যতা বেশী হয়।

ভবিষ্যৎ আলোচনায় সাধারণতঃ আমরা ধরিয়া লইব যে মাধ্যমটি বাতাস। অন্য কোন মাধ্যম থাকিলে উহা স্পষ্ট বলিয়া দেওয়া হয়। সেখানে মাধ্যমের কথা বলা নাই, সেখানে মাধ্যমকে বাতাস ধরিয়া লইতে হয়।

3.5. চৌম্বক বলক্ষেত্র (Magnetic Field) :

আমরা যদি কোন স্থানে একটি চৌম্বক মেরু রাখিতে পারিতাম, তবে উহার কাছাকাছি কোন বিন্দুতে আর একটি মেরু লইয়া গেলে প্রথম মেরুটি দ্বিতীয় মেরুর উপর বল প্রয়োগ করিত। প্রথম মেরুর শক্তি m ও দ্বিতীয় মেরুর শক্তি m' হইলে, ও উভয়ের মধ্যের দূরত্ব d হইলে m'কে m মেরু যে বল দ্বারা আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করিবে তাহার পরিমাণ হইবে

$$F = \frac{m.m}{d^2};$$ (মাধ্যমকে বাতাস ধরা হইয়াছে)।

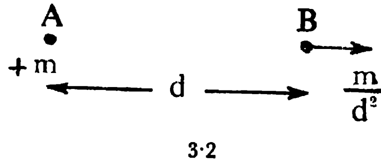
উভয় মেরুর মধ্যের দূরত্ব যদি কম হয় এই বলের পরিমাণ বেশী হয়; দূরত্ব বেশী হইলে এই বলের মান কমিতে থাকে। m মেরুর চারিপাশে যে বিস্তীর্ণ অঞ্চলে অন্য মেরু আনিলে m মেরু তাহার উপরে বল প্রয়োগ করে, সেই অঞ্চলকে m মেরুর চৌম্বক বলক্ষেত্র বলা হয়।

উপরের সংকেত হইতে বুঝিতে পারিবে যে d-এর মান বাড়িলে F-এর মান কমে বটে, কিন্তু d অসীম না হইলে F কখনও শূন্য হইতে পারে না। সুতরাং প্রকৃতপক্ষে কোন চৌম্বক মেরুর বলক্ষেত্র উহার চারিপার্শ্বে অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত। কিন্তু F যেহেতু d-এর বর্গের ব্যস্তানুপাতিক হারে কমে,

অতএব *d*-এর মান দ্বিগুণ হইলে Fএর মান একচতুর্থাংশ হইয়া যায়, *d*-এর মান 10 গুণ হইলে F পূর্বের মানের $\frac{1}{100}$ অংশ হয়, অর্থাৎ F অতিশয় দ্রুত কমিয়া যায়। ফলে মেরু হইতে কয়েক সেন্টিমিটার দূরে গেলেই অন্য মেরুর উপর উহার আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বল এত কমিয়া-যায় যে সেই বলকে মাপাও সম্ভব হয় না। সেইজন্য চৌম্বক বলক্ষেত্র মাত্র কয়েক সেন্টিমিটার বিস্তৃত বলিয়া ধরা হয়।

চুম্বকের বলক্ষেত্রঃ তোমরা জান যে একটি মাত্র মেরুকে পৃথক করিয়া লওয়া কখনই সম্ভব নহে। সেইজন্য যখনই আমরা *m* মেরুর বলক্ষেত্র বাহির করিতে যাইব, তখনই বুঝিতে হইবে যে উহা কোন চুম্বকের একটি মেরু, এবং উহার কাছাকাছি *m* শক্তির বিপরীত মেরুটি রহিয়াছে। অতএব এই মেরুটির নিকটবর্তী কোন বিন্দুতে উহার বিপরীত মেরুর প্রভাবও কাজ করিবে। কোন স্থানের চৌম্বক বলক্ষেত্রের অবস্থা বুঝিতে গেলে সেখানে প্রকৃতপক্ষে কোন চুম্বকের দুইটি মেরুর প্রভাবই কাজ করিতেছে এই অবস্থা স্বীকার করিতে হইবে।

3. 6. চৌম্বক-প্রাবল্য (Intensity of Magnetic Field) : চৌম্বক বলক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে যদি একটি চৌম্বক মেরু আনা হয় তবে তাহার উপর একটি আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বলের সৃষ্টি হইবে। চৌম্বক মেরুর শক্তি যত বেশী হয় এই বল ততই প্রবল হয়।



3·2

চৌম্বক বলক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে একটি একক উত্তর মেরু আনিলে উহার উপরে যে বল ক্রিয়া করে তাহাকে ঐ বিন্দুতে বলক্ষেত্রের চৌম্বক প্রাবল্য (Intensity of Magnetic Field at that point) বলা হয়।

3. 2 নং নিবন্ধের (iii) নং সংকেত হইতে দেখিবে—

m মেরু হইতে *d* দূরত্বে *m'* মেরু আনিলে উহার উপর প্রযুক্ত বল

$$F=\frac{mm_1}{d^2}।$$

এখন আমরা যদি *m'* শক্তিকে একক উত্তর মেরু হিসাবে ধরি, তাহা হইলে $F=\frac{m}{d^2}$ অতএব *m* মেরু হইতে *d* দূরত্বে অবস্থিত বিন্দুতে *m* মেরুর

বলক্ষেত্রের চৌম্বক-প্রাবল্য $\frac{m}{d^2}$। 3·2 নং চিত্রে m মেরুর বলক্ষেত্রে B বিন্দুতে চৌম্বক-প্রাবল্যের পরিমাণ ও অভিমুখ দেখিতে পাইবে।

চৌম্বক-প্রাবল্য প্রকৃত পক্ষে বলের ডাইন এককের সমান; তবে ইহার এককে 1 ওরষ্টেড/একক মেরু (1 Oersted/unit pole) বলা হয়। সাধারণত: এই প্রাবল্যকে 1 C.G.S. একক হিসাবে বলিলেই চলে।

3.7. চৌম্বক বলক্ষেত্রে অবস্থিত মেরুর উপরে প্রযুক্ত বল (Force on a magnetic pole placed in a magnetic field): চৌম্বক বলক্ষেত্রে কোন বিন্দুর চৌম্বক প্রাবল্যকে সাধারণত: H (বা কখনও কখনও F) দ্বারা সূচিত করা হয়। এই বিন্দুতে একক শক্তিবিশিষ্ট কোন মেরু রাখিলে তাহা H ডাইন বল অনুভব করে। সুতরাং এই বিন্দুতে m শক্তিবিশিষ্ট মেরু আনিলে তাহার উপরে mH ডাইন বল ক্রিয়া করিবে।

3.8. অনুশীলন:

(a) 5 C.G.S. মেরু-শক্তি বিশিষ্ট একটি উত্তর মেরু হইতে বাতাসের মধ্যে 6 সেমি. দূরে চৌম্বক প্রাবল্য কত?

চৌম্বক প্রাবল্য $H = \frac{m}{d^2} = \frac{5}{36} = 0{\cdot}14$ ওরষ্টেড। এই বল মেরু হইতে বিপরীত গামী।

(b) 10 C.G.S. মেরু-শক্তি বিশিষ্ট একটি দক্ষিণ মেরু হইতে 8 সেমি. দূরে একটি 2·5 C.G.S. মেরুশক্তির উত্তরমেরু রাখা হইল। উভয়ের মধ্যে মাধ্যম বাতাস হইলে দ্বিতীয় মেরুর উপরে বল কত?

বল $F = \frac{m.m_1}{d^2} = \frac{10 \times 2{\cdot}5}{8^2} = 0{\cdot}4$ ডাইন। বলটি আকর্ষণী বল হইবে।

(প্রথম মেরুর উপরেও অনুরূপ বল প্রযুক্ত হইবে।)

(c) 0·21 একক চৌম্বক-প্রাবল্য বিশিষ্ট একটি বিন্দুতে 5 একক শক্তি বিশিষ্ট দক্ষিণ মেরুকে রাখিলে উহার উপর কত বল প্রযুক্ত হইবে।

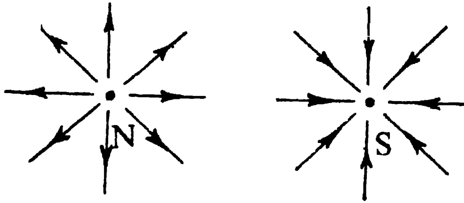
বল $F = m$H ডাইন $= 5 \times 0{\cdot}21 = 1{\cdot}05$ ডাইন, প্রাবল্যের বিপরীত মুখী।

3.9. চৌম্বক বলরেখা (Lines of Force):

3·2 নং চিত্রে B বিন্দুতে একটি উত্তর মেরু আনিলে তাহা তীর চিহ্নিত অভিমুখে একটি বল অনুভব করিত। উহার সরণ সম্ভব হইলে উহা ঐ

অভিমুখে চলিতে থাকিত। চৌম্বক বলক্ষেত্রের যে কোন বিন্দুতেই একটি মুক্ত উত্তর মেরু আনিলে উহা কোন একটি নির্দিষ্ট দিকে চলিতে থাকিবে। এই পথকেই চৌম্বক বলরেখা বলা হয় কারণ এই রেখা অভিমুখেই মুক্ত মেরুর উপর চৌম্বক বল ক্রিয়া করে।

3.3. নং চিত্রে উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর বলক্ষেত্রে বলরেখার অবস্থা দেখিতে পাইবে। উত্তর মেরু উহার নিকটে আনীত উত্তরমেরুর উপর বিকর্ষণী বল প্রয়োগ করে, সুতরাং উত্তর মেরুর চারিপাশে বলরেখার অভিমুখ বহির্মুখী

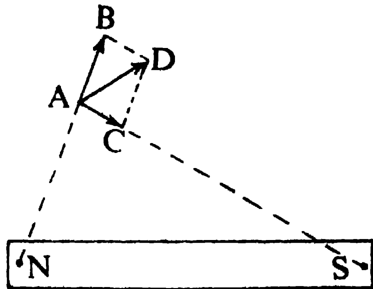


3·3

উত্তব মেরুর বলক্ষেত্রে চৌম্বক বলরেখার অভিমুখ — দক্ষিণ মেরুর বলক্ষেত্রে বলরেখার অভিমুখ

হইবে। দক্ষিণ মেরু উহার সান্নিধ্যে আনিত উত্তরমেরুকে আকর্ষণ করে বলিয়া ইহার চারিপার্শ্বে বলরেখার অভিমুখ অন্তর্মুখী হইবে। মেরুকে আকর্ষণ করে বলিয়া ইহার চারিপার্শ্বে বলরেখার অভিমুখ অন্তর্মুখী হইবে।

3.10. চুম্বকের বলক্ষেত্রে বলরেখা (Lines of force in the field of a magnet): একটি মাত্র মেরুর বলক্ষেত্র বা বলক্ষেত্রের বলরেখার ব্যবহারিক প্রয়োজন বিশেষ নাই, কারণ একটি মাত্র মেরু পাওয়া যায় না। প্রকৃত পক্ষে একটি মেরুর পরিবর্তে আমাদের একটি চুম্বকের দুইটি মেরু লইয়া কাজ করিতে হয়। এইরূপ ক্ষেত্রে



3·4

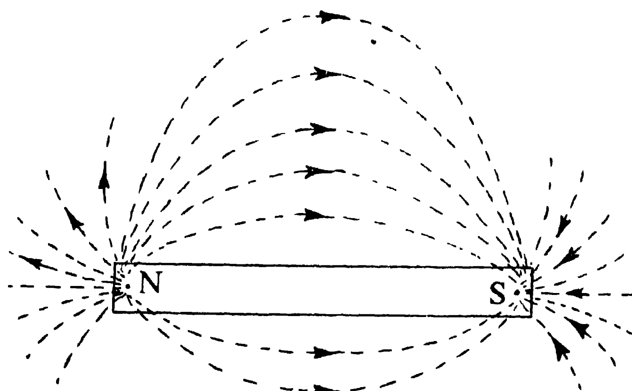
চুম্বকের বলক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে বলরেখার মান ও অভিমুখ

বলরেখার অভিমুখ বদলাইয়া যাইবে। চুম্বকের বলক্ষেত্রের যে কোন বিন্দুতে একটি উত্তর মেরু রাখিলে উহার উপরে চুম্বকের উত্তর মেরু বিকর্ষণী ও দক্ষিণ মেরু আকর্ষণী বল প্রয়োগ করে। এই দুইটি বলের লব্ধি বলই ঐ বিন্দুতে বল-রেখার অভিমুখ নির্দেশ করিবে।

3·4 নং চিত্রে A বিন্দুতে একটি একক উত্তর মেরু রাখা হইয়াছে। ঐ মেরুর উপর চুম্বকের N মেরু একটি বিকর্ষণী বল প্রয়োগ করিবে ও চুম্বকের মেরু শক্তি m হইলে এই বলের মান লইবে $\frac{m}{NA^2}$। এই বলের অভিমুখ হইবে AB। এই বলকে AB ভেক্‌টর দ্বারা নির্দিষ্ট করা যাক। একই ভাবে A বিন্দুতে অবস্থিত একক উত্তর মেরুটির উপরে চুম্বকের S মেরু আকর্ষণী বল প্রয়োগ করিবে, এবং এই বলের পরিমাণ হইবে $\frac{m}{SA^2}$ (ইহা চিত্রে প্রদর্শিত ক্ষেত্রে $\frac{m}{NA^2}$ অপেক্ষা ক্ষুদ্র হইবে)। এই বলকে AC দ্বারা নির্দিষ্ট করা যাক্‌ তাহা হইলে A বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য হইবে AD ও ইহাই A বিন্দুতে চৌম্বক বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ করিবে।

কোন চুম্বকের বলক্ষেত্রে মুক্ত অবস্থায় কোন চৌম্বক উত্তর মেরু রাখিলে তাহার যে গতিপথ হইবে তাহা পরের পৃষ্ঠায় 3·5 নং চিত্রে দেখিবে। তাহার ব্যাখ্যা 3·4 নং চিত্র হইতে বুঝিতে পারা যায়। 3·4 নং চিত্রে দেখ, NS চুম্বকের A বিন্দুতে অবস্থিত মুক্ত উত্তর মেরুর উপরে চুম্বকের N মেরুর বিকর্ষণী বল ও S মেরুর আকর্ষণী বলের লব্ধি AD। সুতরাং মুক্ত উত্তর মেরুটি AD অভিমুখে চলিবে। কিন্তু উহা যে মুহূর্তে A বিন্দু হইতে অপসারিত হয় তৎক্ষণাৎ উহা হইতে N মেরু এবং S মেরুর দূরত্ব, এবং উহার সহিত N ও S মেরু যোগকারী রেখা দুইটির অভিমুখ পাল্টাইয়া যাইবে। আবার, N হইতে মুক্ত মেরুটির দূরত্ব বাড়িয়া যাওয়ায় N-এর বিকর্ষণী বলের পরিমাণ কমিয়া যাইবে, এবং S হইতে দূরত্ব কমিয়া যাওয়ায় S-এর আকর্ষণী বল বাড়িয়া যাইবে। তাহা ছাড়া, N-এর সহিত মুক্ত মেরুর নূতন অবস্থান যোগকারী রেখা NS-এর দিকে খানিকটা ঝুঁকিয়া পড়িবে, আর S-এর সহিত যোগকারী রেখা খানিকটা খাড়া হইয়া যাইবে। ফলে নূতন লব্ধির অভিমুখ

NS-এর দিকে খানিকটা ঝুঁকিয়া পড়িবে। এই ভাবে পরপর কয়েকটি বিন্দুতে মুক্ত মেরুটির উপরে লব্ধি বলের অভিমুখ বাহির করিয়া লইলে দেখা যাইবে, মুক্ত উত্তর মেরুটি 3·5 নং চিত্রের প্রদর্শিত বক্ররেখাগুলির কোন একটি ধরিয়া N হইতে S অভিমুখে চলিবে।



3·5

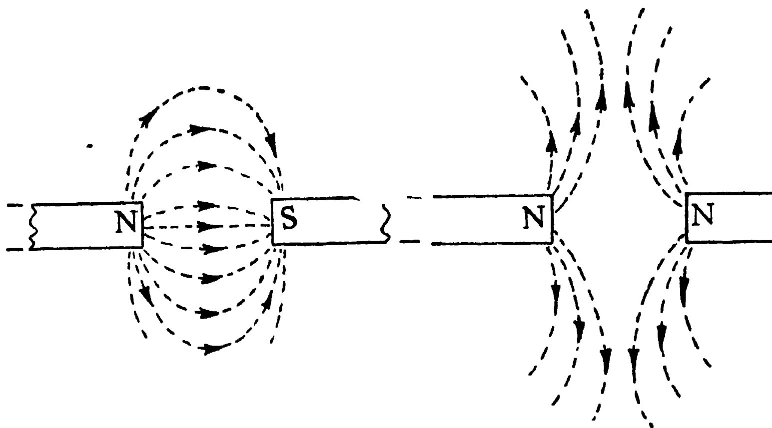
3·5 নং চিত্রে এইরূপ কতকগুলি বলরেখা দেখানো হইয়াছে। যেহেতু বলের অভিমুখ উত্তর হইতে দক্ষিণ দিকে, সুতরাং বলরেখাগুলিকে তীর চিহ্ন দ্বারা নির্দিষ্ট করা হয়।

আবার দেখ, কোন বলরেখা বক্র হইলেও কোন বিন্দুতে বলের অভিমুখ এই রেখার সহিত স্পর্শক। বলরেখার উপরে প্রতি বিন্দুতে বলের অভিমুখ এই বিন্দুতে বলরেখার স্পর্শক হইবে। সুতরাং বলরেখাকে আমরা নিম্নরূপ সংজ্ঞা দিতে পারি,—

বলরেখার সংজ্ঞা : কোন চৌম্বক বলক্ষেত্রে চৌম্বক বলরেখা বলিতে মুক্ত উত্তর মেরুর গতিপথকে বুঝায়; বলরেখার যে কোন বিন্দুতে স্পর্শক ঐ বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করে।

3·6 নং চিত্রে একটি চুম্বকের উত্তর মেরু ও অপর চুম্বকের দক্ষিণ মেরুর মধ্যের বলক্ষেত্র ও বলরেখা, এবং দুইটি চুম্বকের উত্তর মেরুর মধ্যে বলক্ষেত্র দেখানো হইয়াছে।

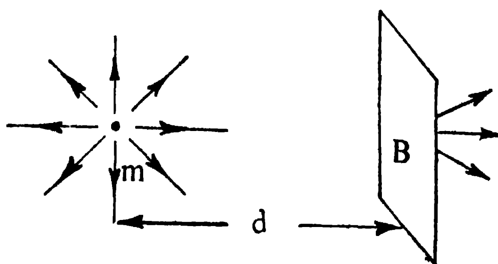
3.11. বলরেখা ও চৌম্বক প্রাবল্যের সম্বন্ধ (Relation between a Line of force and Intensity of field) : বলরেখার যেহেতু অভিমুখ আছে



3·6

সেইজন্য ইহাকে ভেক্‌টর রাশি হিসাবে কল্পনা করিয়া বলরেখা ও চৌম্বক-প্রাবল্যের মধ্যে সম্বন্ধ স্থাপন করা যায়।

বৈজ্ঞানিক ফ্যারাডে কল্পনা করেন যে একক উত্তর মেরু হইতে 4π সংখ্যক বলরেখা বাহির হয়। তাহা হইলে m শক্তিবিশিষ্ট মেরু হইতে $4\pi m$



3·7

সংখ্যক রেখা বাহির হইবে। মেরুটি হইতে d দূরত্বে অবস্থিত B বিন্দুতে চৌম্বক-প্রাবল্যের মাত্রা $\frac{m}{d^2}$ ইহা আমরা জানি। আবার দেখ, m-কে কেন্দ্র করিয়া ও d ব্যাসার্ধ লইয়া একটি গোলক আঁকা হইল কল্পনা করিলে m হইতে নির্গত $4\pi m$-টি বলরেখা এই গোলকের পৃষ্ঠ দিয়া লম্বভাবে বাহির হইবে।

আমাদের আলোচ্য B বিন্দুও এই গোলকের পৃষ্ঠে অবস্থিত এবং B বিন্দুর নিকটবর্তী অঞ্চল দিয়াও কিছু বলরেখা যাইবে। B বিন্দুর চারিপাশে একক ক্ষেত্র দিয়া কতগুলি বলরেখা যাইবে তাহা বাহির করা যাক্।

গোলকটির পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল $=4\pi d^2$, সুতরাং ইহার প্রতি একক ক্ষেত্র দিয়া $\frac{4\pi m}{4\pi d^2}$, অর্থাৎ $\frac{m}{d^2}$ সংখ্যক রেখা যাইবে।

অতএব B বিন্দুর চারিপাশে একক ক্ষেত্র দিয়াও নিশ্চয় $\frac{m}{d^2}$ সংখ্যক বলরেখা যাইবে।

আবার B বিন্দুতে চৌম্বক-প্রাবল্য $=\frac{m}{d^2}$।

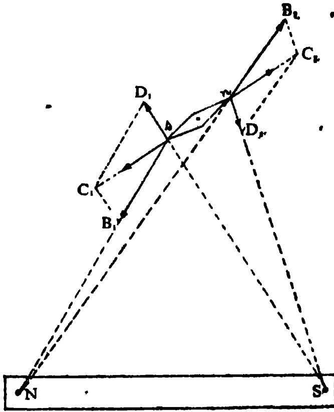
সুতরাং বলা যায়, কোন বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য ঐ বিন্দুর চারিপাশে একক ক্ষেত্রফল দিয়া যতগুলি বলরেখা যাইবে তাহার সমান।

(বলরেখার কল্পনার একটি অসুবিধা রহিয়া যায়। দুইটি বলরেখার মধ্যে যে শূন্যস্থান, মনে হইতে পারে সেখানে কোন চৌম্বক-প্রাবল্য নাই। আবার যেহেতু মোট বলরেখার সংখ্যা সীমিত (মাত্র $4\pi m$) অতএব প্রতি বিন্দু দিয়াই একটি বলরেখা কল্পনা করা যায় না। সেজন্য বলা হয় যে কতকগুলি বলরেখা লইয়া একটি **বল-নালিকা** (Tube of force) সৃষ্টি হয়। এই বল-নালিকার প্রস্থচ্ছেদ ছোট বড় হইতে পারে, সুতরাং একটি চৌম্বক-বলক্ষেত্রে গা ঘেঁষাঘেষি করিয়া কতগুলি বল-নালিকা চলিতেছে ভাবিলে, যেকোন বিন্দুই কোন না কোন বল-নালিকার পথে পড়িবে বলিয়া মনে করা যায়। প্রকৃতপক্ষে ফ্যারাডে বলেন m শক্তির মেরু হইতে $4\pi m$-টি বল-নালিকা বাহির হয়, এবং একটি বল-নালিকা অনেকগুলি বলরেখার সমষ্টি)।

3.12. চৌম্বক বলক্ষেত্রে চুম্বক শলাকার অবস্থান (Disposition of a magnetic needle in a magnetic field) : যদিও চৌম্বক বলক্ষেত্রের আলোচনায় আমরা একটি মুক্ত উত্তর মেরুর চলাচল কল্পনা করি, তবু প্রকৃতপক্ষে এরূপ মুক্ত উত্তরমেরু পাওয়া সম্ভব নয়। তাহা হইলে কোন চৌম্বক বলক্ষেত্রে বলরেখার অভিমুখ বাহির করিবার উপায় কি ?

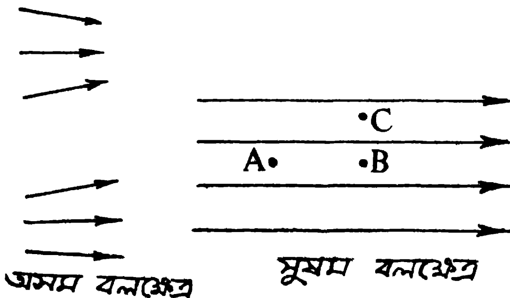
মনে কর NS চুম্বকের বলক্ষেত্রে একটি ক্ষুদ্র চুম্বক শলাকা ns রাখা হইয়াছে যেন উহার s মেরু s বিন্দুতে ও n মেরু n বিন্দুতে থাকে (চিত্র 3.8)। তাহা

হইলে s মেরুর উপর চৌম্বক বল sC_1 উত্তর মেরুর আকর্ষণ sB_1 ও দক্ষিণ মেরুর বিকর্ষণ sD_1-এর লব্ধি হইবে। সেইরূপ n বিন্দুতে শলাকার n মেরুর উপর চৌম্বক বল nC_2 অভিমুখে ক্রিয়া করিবে। s ও n বিন্দুর মধ্যে কিছুটা দূরত্ব থাকায় sC_1 ও nC_2 পরস্পর ঠিক বিপরীত ও সমান হইবে না। কিন্তু চুম্বক শলাকাটি যদি এত ছোট হয় যে ns দূরত্ব সামান্য হয়, তবে আমরা মনে করিতে পারিলে s ও n বিন্দু মিলিয়া যাইবে এবং sC_1 ও sC_2 বল সমান ও বিপরীত হইবে। স্বভাবতঃই C_1snC_2 এক সরলরেখা হইবে এবং চুম্বক শলাকা এই রেখায় দাঁড়াইবে। এই রেখা এবং n বিন্দুতে একটি উত্তর মেরু রাখিলে তাহার উপরে লব্ধি বলের অভিমুখ এক। সুতরাং চুম্বক শলাকা দ্বারাই আমরা কোন বিন্দুতে চৌম্বক বলরেখার অভিমুখ জানিতে পারিব।



3·8
চৌম্বক বলক্ষেত্রে চুম্বক শলাকার অবস্থান

3.13. সুষম বলক্ষেত্র (Uniform Magnetic Field) :

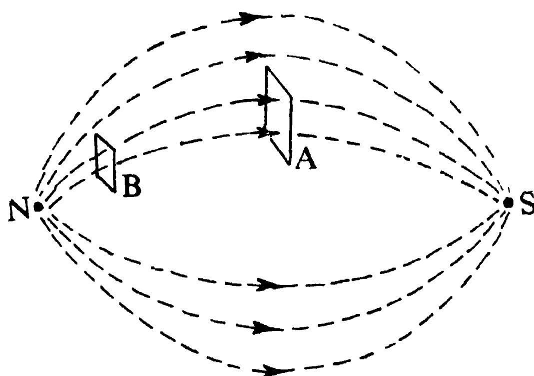


3·9

কোন চৌম্বক বলক্ষেত্র যদি এমন হয় যে সেখানে বিভিন্ন বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্যের পরিমাণ সমান হয় তবে সেইরূপ বলক্ষেত্রকে সুষম বলক্ষেত্র বলা হয়।

কোন বিন্দুর চৌম্বক প্রাবল্য সেই বিন্দুর চারিপাশে একক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়া গমনকারী চৌম্বক বলরেখার সমান ধরা হয়। 3·9 নং চিত্রে দেখা A, B, C বিন্দুগুলি যদি একটি সুষম বলক্ষেত্রের মধ্যে অবস্থিত হয়, তবে A বিন্দু বা B বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য সমান, সুতরাং উহাদের চারিপাশে একক ক্ষেত্রের ভিতর দিয়া গমনকারী চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা সমান। অতএব চিত্রে প্রদর্শিত অঙ্কনে বলরেখাগুলি নিশ্চয় সমান্তরাল হইবে। বলরেখাগুলি সমান্তরাল না হইলে বিভিন্ন বিন্দুতে একক ক্ষেত্র-ছেদকারী বলরেখার সংখ্যা সমান হইবে না, অর্থাৎ চৌম্বক প্রাবল্য সব বিন্দুতে সমান হইবে না। সেক্ষেত্রে বলক্ষেত্রটি অসম (non uniform) হইবে।

দুইটি চুম্বক মেরু (চিত্র নং 3·10) পরস্পর হইতে অনেক দূরে থাকিলে তাহাদের মধ্যে যে বলক্ষেত্র, সেই বলক্ষেত্রে উভয় মেরুর মধ্যবর্তী অঞ্চলে

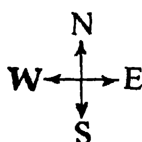


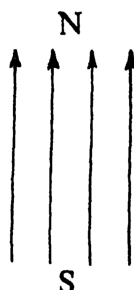
3·10

বলরেখাগুলি সমান্তরাল হইয়া যায় (A অঞ্চল)। সেজন্য এইরূপ ক্ষেত্রকে সুষম বলক্ষেত্র বলা যায়। কোন মেরুর নিকটবর্তী অঞ্চল (B) কিন্তু অসম বলক্ষেত্র।

পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক, ইহার মেরুদুটির দূরত্ব খুব বেশী। সুতরাং পৃথিবীর চৌম্বক উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর মধ্যে যে সমস্ত বলরেখা আছে, যে কোন অঞ্চলে সেই বলরেখাগুলিকে সমান্তরাল বলা যায়। সেজন্য যে

কোন সহরকে আমরা একটি সুষম বলক্ষেত্র বলিতে পারি। কলিকাতার উত্তর প্রান্তে পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্য যত, দক্ষিণ প্রান্তেও ততই হইবে বলা যায়।





3·11

পৃথিবীর চৌম্বক বলরেখাগুলি উত্তরমুখী, কারণ কোন চুম্বকের উত্তর মেরু উত্তর দিকে মুখ করিয়া থাকে। সুতরাং কোন স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক বলক্ষেত্রকে উত্তরমুখী কতকগুলি সমান্তরাল বলরেখা দ্বারা নির্দেশ করা যায় (চিত্র নং 3·11)।

পৃথিবীর চৌম্বক বলক্ষেত্রের অভিমুখকে **চৌম্বক মধ্যতল (Magnetic Meridian)** বলে।

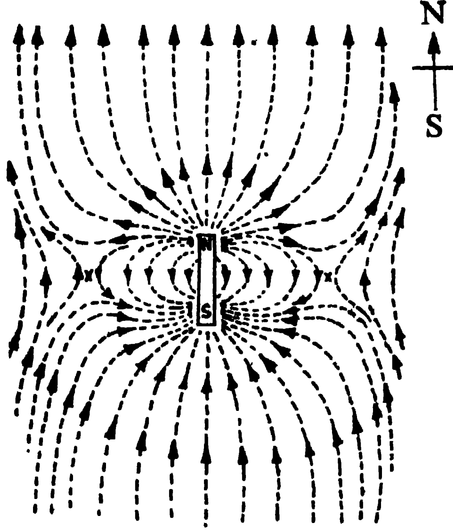
3.14. চৌম্বক বলক্ষেত্রের মানচিত্র (Map of Magnetic Field) :

কোন চুম্বকের চারিপাশে একটি বলক্ষেত্র রহিয়াছে। এই বলক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে একটি উত্তর মেরু আনিলে চুম্বকটি তাহার উপর বল প্রয়োগ করে। এই বলের অভিমুখ সেই বিন্দুতে যে চৌম্বক বলরেখা গিয়াছে তাহার স্পর্শক হইবে। সুতরাং আমরা যদি একটি চৌম্বক বলক্ষেত্রে কতগুলি বলরেখা অঙ্কন করি, তবে বিভিন্ন বিন্দুতে বলের অভিমুখ জানা যাইবে। এইরূপ একটি চৌম্বক বলক্ষেত্রকে কতকগুলি বলরেখা দ্বারা সূচিত করা যায়। বলরেখা দ্বারা সূচিত বলক্ষেত্রকেই ঐ বলক্ষেত্রের মানচিত্র বলা হয়।

কোন চুম্বকের বলক্ষেত্রের মানচিত্র অঙ্কন করিবার সময়ে ঐ বলক্ষেত্রে চুম্বকের মেরু দুটিই শুধু নহে, পৃথিবীর বলক্ষেত্রও কাজ করে। প্রকৃতপক্ষে 3·4, 3·6 বা 3·7 নং চিত্রের ন্যায় বলরেখার মানচিত্র পাওয়া সম্ভব নহে, কারণ সেখানে আমরা পৃথিবীর বলক্ষেত্রের প্রভাব চিন্তা করি নাই। একটি চুম্বকের কোন বিন্দুতে বলের অভিমুখ ঐ চুম্বকের উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর জন্য দুইটি বল এবং পৃথিবীর চৌম্বক বল, এই তিনটি বলের লব্ধি হইবে। ঐ বিন্দুতে একটি উত্তর মেরু, কিংবা তাহার পরিবর্তে একটি ছোট কম্পাস কাঁটা আনিলে উহা লব্ধি বলের দিক নির্দেশ করিবে।

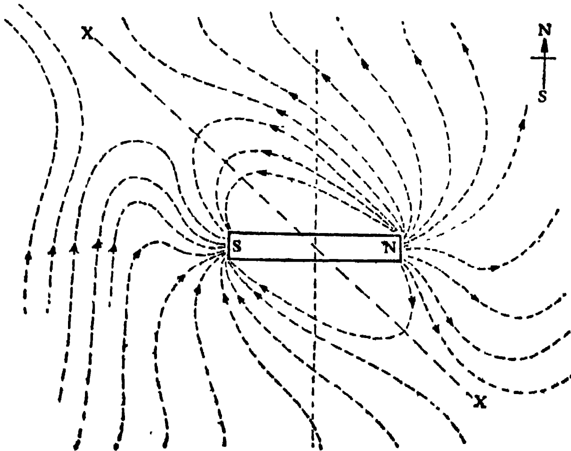
3.15. একটি পরীক্ষা :

একটি ড্রইং-বোর্ডের উপর একটি সাদা কাগজ পিন বা আঠা দিয়া



3·12 (a)

আটকাইয়া দাও। একটি দণ্ড-চুম্বক কাগজটির মধ্যস্থলে রাখিয়া পেন্সিলের সাহায্যে তাহার সীমারেখা আঁকিয়া লও। চুম্বকটিকে দূরে সরাইয়া একটি



3·12 (b)

চুম্বক শলাকা আনিয়া উহাকে পেন্সিলে আঁকা চুম্বকের সীমারেখার উপরে রাখ, যেন শলাকার মধ্যবিন্দু সীমারেখার উপরে বসে। চুম্বক-শলাকাটি পৃথিবীর চৌম্বক মধ্যতল নির্দেশ করিবে। এখন ড্রইং-বোর্ডকে ঘুরাও যেন সীমারেখাটি শলাকার সমান্তরাল হয়। শলাকাটি সরাইয়া ফেলিয়া এইবার চুম্বক-দণ্ডকে আনিয়া সীমারেখার মধ্যে রাখ, যেন উহার উত্তর মেরু উত্তর দিকে মুখ করে।

এখন চুম্বকের চারিপাশে একটু লৌহ চূর্ণ ছড়াইয়া দাও। আঙুল দিয়া ড্রইং-বোর্ডকে টোকা দিতে থাক যেন ড্রইং বোর্ডটি স্থানচ্যুত হয় না ; কিন্তু উহার কম্পন হয়। দেখিবে লৌহ-চূর্ণ-গুলি ঘুরিয়া নিজেদের 3·12 (*a*) নং চিত্রের ন্যায় সাজাইয়া ফেলিবে। লৌহচূর্ণগুলি চুম্বকের বলক্ষেত্রের মধ্যে আবিষ্ট হয়, এবং প্রত্যেকে একটি ক্ষুদ্র চুম্বক হইয়া দাঁড়ায়। ' বোর্ডের উপর টোকা দিলে উহারা শূন্যে লাফাইয়া উঠে, এবং শূন্যে থাকিবার সময়টুকু মুক্ত অবস্থায় থাকে বলিয়া চৌম্বক বলরেখার দিকে ঘুরিয়া যায়।

চুম্বক-দণ্ডকে পূর্ব-পশ্চিমমুখী রাখিয়া অনুরূপ পরীক্ষা করিলে দেখিবে লৌহচূর্ণগুলি 3·12 (*b*) নং চিত্রের ন্যায় সজ্জিত হইয়াছে।

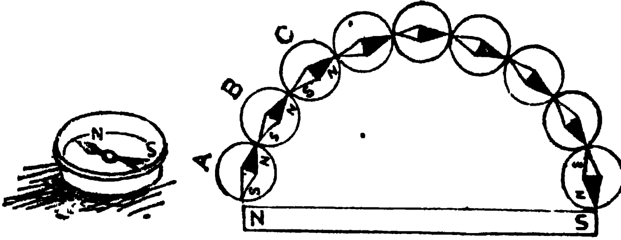
একই চুম্বকের বলক্ষেত্র হইলেও পৃথিবীর চৌম্বক বলক্ষেত্রের প্রভাবেই চিত্র দুইটি দুই রকম হইল।

3.16. চৌম্বক বলক্ষেত্রের মানচিত্র অঙ্কন (To map a magnetic field) : কোন চুম্বকের নিজস্ব বলক্ষেত্র অঙ্কন কখনই সম্ভব নয়, কারণ এই বলক্ষেত্রের উপরে পৃথিবীর চৌম্বকবল ক্রিয়া করে। কোন চৌম্বক বলক্ষেত্রের মানচিত্র অঙ্কন করিবার সময়ে আমরা পৃথিবী ও চুম্বকের বলক্ষেত্রের লব্ধি বলক্ষেত্র পাই। সুতরাং চুম্বক ও পৃথিবীর বলক্ষেত্রের পারস্পরিক সংস্থানের উপর বলক্ষেত্র ও মানচিত্রের আকৃতি নির্ভর করে।

(i) চুম্বকের উত্তর মেরু উত্তর দিকে ফিরিয়া থাকিলে চৌম্বক বলক্ষেত্রের মানচিত্র (Map of the magnetic field of a magnet with its North Pole pointing North) :

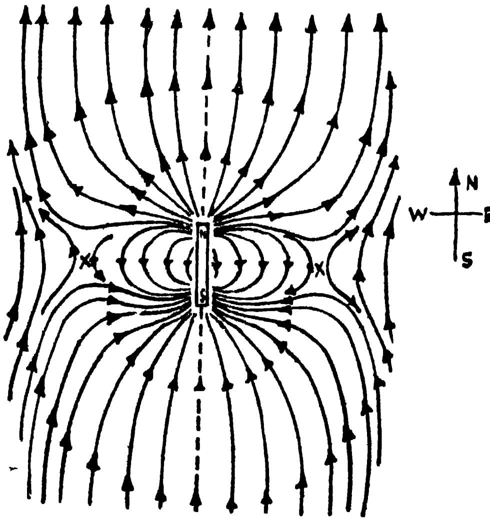
পরীক্ষা : কাজের টেবিলের উপর হইতে সমস্ত চুম্বক বা চৌম্বক পদার্থ সরাইয়া ফেল। একটি ড্রইং-বোর্ডের উপরে পিতলের পিন বা আঠার সাহায্যে একটি কাগজ আটকাও। কাগজের মধ্যস্থলে দণ্ড-চুম্বকটি রাখিয়া সূক্ষ্মাগ্র পেন্সিলের সাহায্যে উহার সীমারেখা আঁকিয়া লও। চুম্বক-দণ্ডকে দূরে সরাইয়া

একটি ছোট চুম্বক শলাকা লইয়া উহাকে চুম্বকের অঙ্কিত সীমারেখার উপরে রাখ যেন শলাকার মধ্যবিন্দু সীমারেখার কোন বাহুর উপরে থাকে। এখন



3·13

ধীরে ধীরে শলাকাটি বসানো অবস্থায় ড্রইং-বোর্ডকে ঘুরাও। চুম্বক শলাকা সর্বদা উত্তরমুখী হইয়া থাকিবে, কিন্তু ড্রইং-বোর্ড ও উহার উপরে আঁকা চুম্বকের সীমারেখা ঘুরিতে থাকিবে, ফলে এক সময়ে এই সীমারেখা চুম্বক শলাকার



3·14

সমান্তরাল হইয়া যাইবে। ড্রইং-বোর্ডকে এই অবস্থায় স্থির রাখ। ড্রইং-বোর্ড এই অবস্থায় আনিবার পরে পরীক্ষার মধ্যে উহাকে আর সামান্যও বিচ্যুত-

করা চলিবেনা। সতর্কতা হিসাবে একটি খড়ির সাহায্যে এই অবস্থায় ড্রইং-বোর্ডের সীমারেখাটি টেবিলের উপর আঁকিয়া লওয়া ভাল। চুম্বক শলাকাকে পাশে সরাইয়া দণ্ড-চুম্বকটিকে আনিয়া উহার আঁকা সীমারেখার মধ্যে উত্তর মেরু উত্তর দিক করিয়া বসাও।

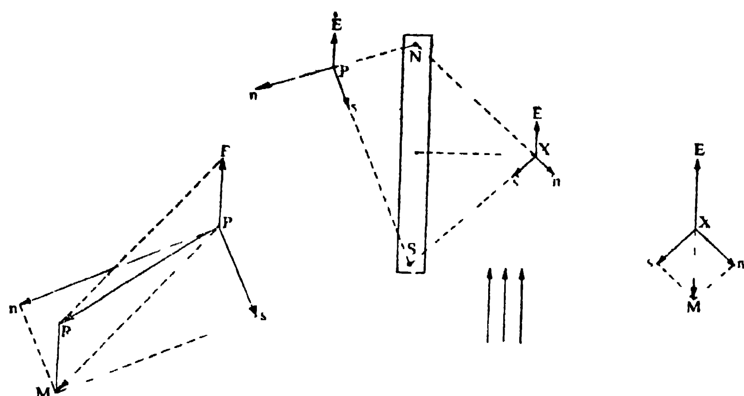
চুম্বক শলাকাকে লইয়া চুম্বকের উত্তর মেরুর কাছে কোন অবস্থান A-তে বসাও (চিত্র 3·13)। চুম্বক শলাকার দক্ষিণ মেরু চুম্বকের দিকে থাকিবে ও উত্তর মেরু চুম্বক হইতে দূরে থাকিবে। চুম্বক শলাকা স্বভাবতঃই A বিন্দুতে বলরেখার অভিমুখ নির্দেশ করিবে। উহার দুই প্রান্তের অবস্থানকে সূচ্যগ্র পেন্সিলের সাহায্যে বোর্ডের কাগজের উপর চিহ্নিত কর। এখন শলাকাকে সরাইয়া নূতন অবস্থায় B-তে লইয়া যাও যেন উহার দক্ষিণ মেরু এইবার পূর্বের উত্তর মেরুর অবস্থানের সহিত মিলিয়া যায়। উহার উত্তর মেরু এইবার চুম্বক হইতে আরও দূরে থাকিবে। ইহার নূতন অবস্থান চিহ্নিত কর। এই ভাবে উহাকে ক্রমে ক্রমে সরাইয়া লইয়া গেলে আমরা কতকগুলি পর পর বিন্দু পাইব। এই বিন্দুগুলি একটি রেখা দ্বারা যুক্ত করিলে একটি বলরেখা পাইবে। একই ভাবে কতকগুলি বলরেখা অঙ্কন কর। প্রতিটি বলরেখাকে উত্তর হইতে দক্ষিণ অভিমুখী তীর দ্বারা চিহ্নিত কর (চিত্র 3·14)।

উদাসীন বিন্দু (Neutral Point) : খুব সতর্কভাবে চৌম্বক বলক্ষেত্র অঙ্কন করিলে বলক্ষেত্রের মধ্যে দুইটি বিন্দু পাওয়া যায় যেখানে চুম্বক শলাকাকে রাখিলে উহা কোন নির্দিষ্ট দিক নির্দেশ করে না। উহাকে উত্তর দক্ষিণ হইতে বিচ্যুত করিয়া এই বিন্দুতে রাখিলে উহা সেই দিকেই রহিয়া যাইবে। 3·14 নং চিত্রে × দ্বারা সেই বিন্দুর অবস্থান দেখানো হইয়াছে। স্বভাবতঃই এই বিন্দুতে চুম্বক শলাকার দিগ্‌দর্শী ধর্ম লোপ পায়, অর্থাৎ চৌম্বক বলক্ষেত্রের এই বিন্দুতে কোন লব্ধি বল নাই বলিয়া এই বিন্দুতে চুম্বক শলাকা সাধারণ লৌহখণ্ডের ন্যায় ব্যবহার করে। এই বিন্দুকে উদাসীন বিন্দু বলে। চৌম্বক বলক্ষেত্রের প্রতিটি বিন্দুতে বল হইল সেই বিন্দুতে চুম্বকের নিজস্ব বল ও পৃথিবীর চৌম্বক বলের লব্ধি। সুতরাং উদাসীন বিন্দুতে চুম্বকের চৌম্বক বল ও পৃথিবীর চৌম্বক বল পরস্পরের বিপরীত ও সমান হইয়া পরস্পরকে প্রশমিত করে।

উদাসীন বিন্দুর সংজ্ঞা : চৌম্বক বলক্ষেত্রের যে বিন্দুতে বিভিন্ন চৌম্বক বল পরস্পরকে সম্পূর্ণ প্রশমিত করে সেই বিন্দুকে উদাসীন বিন্দু বলে।

চৌম্বক বলক্ষেত্রে বিভিন্ন বলরেখার অভিমুখের ব্যাখ্যা ঃ

3·15 নং চিত্রে উত্তর মেরু উত্তর-মুখী অবস্থানে রক্ষিত একটি চুম্বক-দণ্ডের বলক্ষেত্রের মানচিত্র তোমরা দেখিয়াছ। বিভিন্ন বলরেখাগুলি কোন দিক নির্দেশ করে কেন 3·15 নং চিত্রে তাহা বুঝিতে পারিবে।



3·15

চৌম্বক বলক্ষেত্রে প্রতিটি বিন্দুতেই চুম্বকের চৌম্বক বল ও পৃথিবীর চৌম্বক-বল ক্রিয়া করিতেছে। চিত্রে P বিন্দুতে বিভিন্ন বলের অভিমুখ দেখিতে পাইবে। এই বিন্দুতে একটি উত্তর মেরু থাকিলে উহার উপর চুম্বকের উত্তর-মেরু ও দক্ষিণমেরু যথাক্রমে P*n* ও P*s* বল প্রযোগ করিবে। এই দুই বলের লব্ধি PM হইবে চুম্বকের মোট বল। আবার আনীত উত্তর মেরুর উপর পৃথিবী যে বল প্রয়োগ করে তাহার পরিমাণ PE। সুতরাং P বিন্দুতে মোট বল হইবে PE ও PM বলের লব্ধি অর্থাৎ PR। বলক্ষেত্রের প্রতিটি বিন্দুতেই বলরেখার অভিমুখ একই ভাবে নির্দিষ্ট হয়।

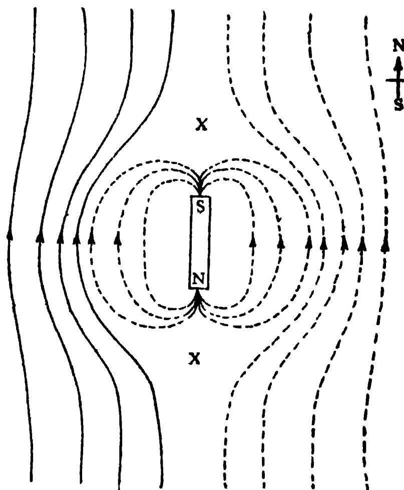
বলক্ষেত্রের X বিন্দুটি উদাসীন কেন হয় তাহাও চিত্রে বুঝিতে পারিবে। X*n* ও X*s* হইবে X বিন্দুতে আনীত উত্তর মেরুর উপরে চুম্বক দণ্ডের উত্তর ও দক্ষিণমেরুর প্রযুক্ত বল ; XE হইল X বিন্দুতে পৃথিবীর চৌম্বক বল। যদি X*n* ও X*s*-এর লব্ধি XM, অর্থাৎ চুম্বকের প্রযুক্ত বল, পার্থিব চৌম্বক বল XE-এর সমান ও বিপরীত হয় তবেই এই বিন্দুতে মোট বলের পরিমাণ শূন্য হইবে। আমরা যদি উত্তরমেরুকে X হইতে চুম্বকের কাছাকাছি লইয়া

যাই তবে চুম্বকের বল বেশী শক্তিশালী হইবে, আবার X হইতে চুম্বকের বিপরীত দিকে যাই তবে পৃথিবীর চৌম্বক বল বেশী শক্তিশালী হইবে।

সাধারণ চুম্বকের ক্ষেত্রে উদাসীন বিন্দুর অবস্থান চুম্বক হইতে মাত্র কয়েক সেন্টিমিটার দূরে হয়, তারপরই চুম্বকের প্রভাব এত দুর্বল হইয়া পড়ে যে তখন পৃথিবীর চৌম্বক বলরেখাগুলিই চৌম্বক বলক্ষেত্র নির্দেশ করে, কেবল সেগুলি চুম্বকের প্রভাবে সামান্য বাঁকিয়া যায়।

(ii) **উত্তর মেরু দক্ষিণ অভিমুখে রক্ষিত অবস্থায় চুম্বকের বলক্ষেত্র (Magnetic Field due to a magnet with its N-pole pointing South) :**

ঠিক পূর্বের ন্যায়ই এক্ষেত্রেও বলক্ষেত্রের মানচিত্র অংকন করা যায়।



3·16

চুম্বকের উত্তর মেরু দক্ষিণ মুখে রাখিলে বলক্ষেত্রের মানচিত্র এবং উদাসীন বিন্দুর অবস্থান

3.17. চৌম্বক বলরেখার ধর্ম :

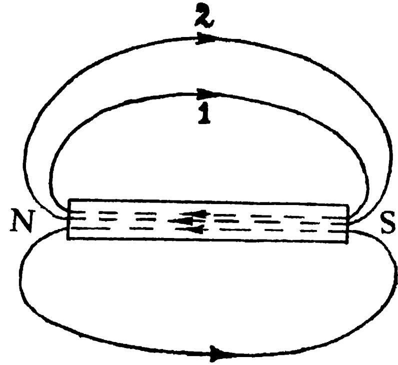
চৌম্বক বলক্ষেত্রকে কতকগুলি বলরেখার সমষ্টি দ্বারা সুন্দরভাবে নির্দেশ করা যায়। চৌম্বক বলক্ষেত্রে বিভিন্ন বিন্দুতে বিভিন্ন পরিমাণ প্রাবল্য বিভিন্ন দিকে কাজ করে, কাজেই কোন মুক্ত মেরু সেই বলক্ষেত্রে স্থির হইয়া থাকিতে পারেনা। বলরেখা দ্বারা বলক্ষেত্রকে বুঝাইতে গেলে বলরেখাগুলিতে

কতকগুলি বিশেষ ধর্ম আরোপ করিতে হয় তাহা হইলে মানচিত্র বুঝিবার সুবিধা হয়।

নিম্নের সেইরূপ কতকগুলি ধর্মের উল্লেখ করা হইল।

(i) বলক্ষেত্রে বলরেখার উৎপত্তি চৌম্বক উত্তর মেরুতে ও শেষ চৌম্বক দক্ষিণ মেরুতে।

(ii) বলরেখাগুলি দক্ষিণ মেরুতে আসিয়াই শেষ হয় না, চুম্বকের ভিতরেও উহারা দক্ষিণ মেরু হইতে উত্তর মেরুতে যায়। অর্থাৎ প্রতিটি বলরেখা প্রকৃতপক্ষে একটি বদ্ধকুণ্ডলী (closed curve) (চিত্র 3·17)।



3·17

(iii) বলরেখা উত্তর মেরু হইতে বাহির হইয়া দক্ষিণ মেরুতে শেষ হয়। অতএব আমরা যদি বলি যে বলরেখা একটি টানিয়া লম্বা করা রবারের সুতার মত সর্বদা দৈর্ঘ্যে সংকুচনের প্রচেষ্টা করে, তবে উত্তর ও দক্ষিণমেরুর আকর্ষণকে ব্যাখ্যা করা যায়।

(iv) চিত্র নং 3·17-এ দেখ 1 নং বলরেখা ও 2 নং বলরেখার উপরে যদি দুইটি উত্তর মেরুকে ছাড়িয়া দেওয়া যায় উহারা যাত্রাপথে পরস্পরকে বিকর্ষণ করিবে। সুতরাং বলা চলে, যে দুইটি বলরেখা একই অভিমুখে যাইতে যাইতে পরস্পরকে পাশাপাশি বিকর্ষণ করে।

সেই ভাবে, বলরেখার বিপরীত অভিমুখ যেহেতু দক্ষিণ মেরুর গতিপথ নির্দেশ করে, অতএব বিপরীত মুখী দুইটি বলরেখা পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

প্রকৃতপক্ষে বলরেখা সম্পূর্ণ কাল্পনিক বস্তু, কিন্তু ইহার কল্পনায় চৌম্বক বলক্ষেত্রের বিশেষত্ব বুঝাইবার এত সুবিধা হয় যে চুম্বকতত্ত্বে বলরেখাকে বাস্তব বলিয়াই ধরিয়া লওয়া যায়।

3.18. **চুম্বকের মেরুর অবস্থান নির্ণয় (Localisation of poles of a bar magnet) :** আণবিক তত্ত্বের ভিত্তিতে তোমরা বুঝিতে পারিয়াছ যে চুম্বক-দণ্ডের প্রান্তে অণুচুম্বকগুলির মুক্ত মেরু থাকে বলিয়া তাহাকে

চুম্বকের মেরু বলে। স্বভাবতঃই চুম্বকের মেরু বলিয়া কোন বিন্দু নাই, একটি বিস্তৃত অঞ্চলে মেরু থাকে। কিন্তু ব্যবহারিক কাজকর্মে চুম্বকের মেরুকে একটি বিন্দু হিসাবে কল্পনা করিয়া লইলে সুবিধা হয়।

চুম্বকের উত্তর মেরু হইতে চৌম্বক বলরেখাগুলি বাহির হয়, এবং দক্ষিণ মেরুতে সেগুলি চুম্বকের ভিতরে ঢোকে। চুম্বকের কোন প্রান্তে কতকগুলি বলরেখা বাহির করিয়া আমরা যদি সেগুলিকে চুম্বকের ভিতরে বর্ধিত করিয়া দিই, তবে সেগুলি যদি কোন বিন্দুতে মিলিত হয় সেই বিন্দুকেই চুম্বকের মেরু বলা যায়। কাজেই মেরুকে আমরা নিম্নরূপ সংজ্ঞাও দিতে পারি—

মেরুর পূর্ণাংগ সংজ্ঞা ঃ চুম্বকের চৌম্বক বলকে কোন বিন্দু হইতে উৎসারিত কল্পনা করিয়া সেই বিন্দুকে চুম্বকের মেরু বলা হয়। চুম্বকের বলরেখাগুলি মেরু হইতে নির্গত হয়। বলরেখার অভিমুখ মেরুর অবস্থান নির্দেশ করে।

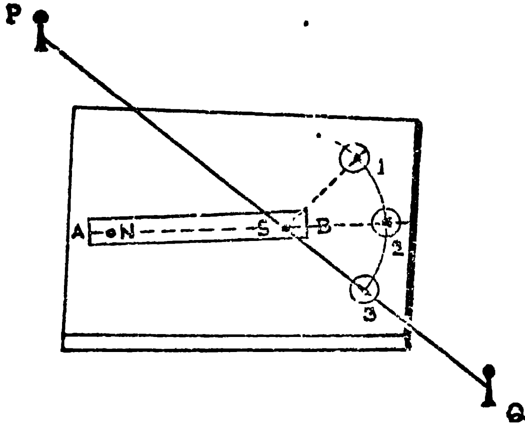
চুম্বকের মেরুর নিকটে বলরেখাগুলির অভিমুখ বাহির করিবার সময়ে পৃথিবীর চৌম্বক বলের ক্রিয়াও কাজ করে, সুতরাং আমরা বলরেখার লব্ধি অভিমুখ-মাত্রই পাইব। কোন উপায়ে যদি পৃথিবীর চৌম্বক বলরেখার ক্রিয়াকে প্রশমিত করা যায়, কেবল তখনই শুধুমাত্র চুম্বকের মেরুর বলের অভিমুখ পাওয়া যাইবে ও সেই বলের অভিমুখ হইতেই মেরুর অবস্থান জানা যাইবে। সেজন্য নিম্নলিখিত প্রণালীতে চুম্বকের মেরুর অবস্থান নির্ণয় করা হয়।

পরীক্ষা : টেবিল হইতে চৌম্বক বা চুম্বক পদার্থ সরাইয়া ফেলিতে হয়। এখন একটি চুম্বক শলাকা টেবিলের উপরে বসানো হয়। দুইটি দীর্ঘ পিতলের পিন (P,Q) লইয়া তাহাদের মাথায় একটি লম্বা সূতা বাঁধা হয়। অতঃপর পিন দুইটিকে টেবিলের উপর খাড়া করিয়া টেবিলের উপর আটকানো হয় যেন সূতাটি টান হইয়া থাকে এবং পিন দুইটির অবস্থান এমন হয় যে সূতাটি চুম্বক শলাকার খাড়া উপরে ও উহার সমান্তরাল থাকে। তাহা হইলে সূতাটি পৃথিবীর চৌম্বক মধ্যতল নির্দেশ করিবে (চিত্র 3·18)।

একটি ছোট ড্রইং বোর্ডের উপরে পিতলের পিন বা আঠা দিয়া একটি সাদা কাগজ আটকানো হয়। কাগজটির উপরে চুম্বক দণ্ডটি রাখিয়া সূক্ষ্মাগ্র পেন্সিলের সাহায্যে উহার সীমারেখা আঁকিয়া লওয়া হয়।

ড্রইং বোর্ডটি টেবিলের উপরে পিনের মাথায় বাঁধা সূতার নীচে লইয়া যাওয়া হয় যেন চুম্বক দণ্ডটি মোটামুটি সূতার নীচে থাকে। ড্রইং বোর্ডের

আকার এমন হওয়া উচিত যেন উহা নড়াচড়া করিবার সময়ে সুতায় না ঠেকে (চিত্র নং 3·18)।



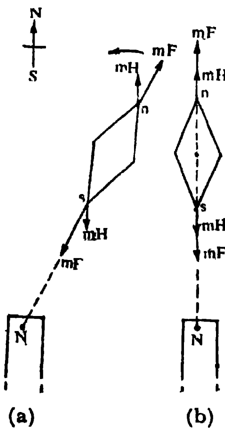
3·18

এখন চুম্বক-দণ্ডের এক প্রান্তে (B) উহার খুব নিকটে চুম্বক শলাকাটি ড্রইং বোর্ডের উপরে রাখা হয়। উহার উপরে (i) চুম্বকের এই প্রান্তের মেরু, (ii) চুম্বকের দূরবর্তী মেরু ও (iii) পৃথিবীর চৌম্বক বল ক্রিয়া করিবে ও উহা একটি লব্ধি অভিমুখে থাকিবে। তবে (ii) নং বল, অর্থাৎ দূরবর্তী মেরুর বলকে আমরা উপেক্ষা করিতে পারি, কারণ শলাকাটি ঐ মেরু হইতে দূরে আছে। এইবার ড্রইং বোর্ডকে একটি উল্লম্বী অক্ষের উপর ঘুরাইতে থাকিলে এক সময়ে চুম্বক শলাকাটি সুতার সমান্তরাল, অর্থাৎ পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরাল হইয়া যাইবে। এই অবস্থায় পৃথিবীর চৌম্বক বল উহার উপরে কোন দ্বন্দ্ব (couple) হিসাবে কাজ করিতে পারে না, অর্থাৎ ইহাকে ঘুরাইতে পারে না, সুতরাং ইহার অভিমুখ পরিবর্তনে পৃথিবীর চৌম্বক বলের ক্রিয়া নাই, এবং ফলে ইহা মাত্র মেরুর দিকেই ঘুরিয়া থাকে। এই অবস্থায় ইহার দুই প্রান্তে পেন্সিলের সাহায্যে বিন্দু আঁকিয়া চিহ্নিত করা হয়। একই রূপে এই প্রান্তে চুম্বক শলাকার আরও দুইটি অবস্থান পাওয়া যায়। প্রতি জোড়া বিন্দুকে পেন্সিলের সাহায্যে যুক্ত করিলে কেবলমাত্র চুম্বকের এই মেরুর জন্য এক একটি বল রেখা পাওয়া যায়, কারণ উপরে বর্ণিত (ii) নং ও (iii) নং বলের ক্রিয়া নষ্ট হইয়া গিয়াছে। এই তিনটি বলরেখাকে বর্ধিত

করিলে উহারা চুম্বকের মধ্যে যে বিন্দুতে পরস্পরকে ছেদ করে তাহাই চুম্বকের এই প্রান্তের মেরু দেয়।

একই ভাবে চুম্বকের অপর মেরু নির্ণয় করা হয়। 3·18 নং চিত্রে চুম্বকের জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য AB ও চৌম্বক দৈর্ঘ্য, অর্থাৎ মেরুদুটির মধ্যের দূরত্ব NS। দণ্ড চুম্বকের বেলায় চৌম্বক দৈর্ঘ্য জ্যামিতিক দৈর্ঘ্যের প্রায় 86-90 শতাংশ হয়। NS রেখা চৌম্বক অক্ষ নির্দেশ করে। এই অক্ষ চুম্বকের জ্যামিতিক অক্ষের প্রায় সমান্তরাল হয়।

চুম্বক শলাকাকে পৃথিবীর চৌম্বক মধ্যতলে আনিলে পৃথিবীর বল উহার উপরে ক্রিয়া করে না কেন—মনে কর, উত্তর মেরুর নিকট কোন অবস্থানে শলাকার উপরে চুম্বকের চৌম্বক প্রাবল্য F ও পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্য H। তাহা হইলে শলাকার প্রত্যেক মেরুর উপর *m*F ও *m*H বল ক্রিয়া করিবে।



3·19

3·19 (*a*) চিত্রে দেখ, শলাকাটি যদি চুম্বকের বলরেখায় থাকেও, তবুও উহা পৃথিবীর চৌম্বক অক্ষে না থাকিলে উহার দুই মেরুর উপর ক্রিয়াশীল *m*H, *m*H বল দুটি একটি দ্বন্দ্ব হিসাবে কাজ করিয়া উহাকে বামাবর্তী দিকে ঘুরাইয়া দিবে, এবং উহা চুম্বকের বলরেখা হইতে বিচ্যুত হইবে। 3·19 (*b*) চিত্র শলাকাটিকে পৃথিবী চৌম্বক মধ্যতলে আনিবার ফলে *m*H, *m*H এবং *m*F, *m*F বল পরস্পরকে প্রশমিত করিতেছে, অতএব উহার কোন বিচ্যুতি হইতেছে না।

দ্রষ্টব্য : যেখানে চুম্বকের মেরুর অবস্থান জানা প্রয়োজন সেখানে 20-30 সেমি. দৈর্ঘ্য ও দুই প্রান্তে 1 সেমি. ব্যাসার্ধের গোলক-বিশিষ্ট চুম্বকের ব্যবহার বিশেষ সুবিধাজনক, কারণ ইহার মেরু দুটি গোলকের কেন্দ্রে থাকে। (চিত্র নং 3 20)।

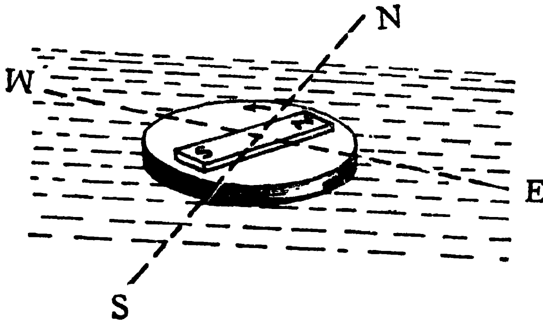

3·20

3.19. চুম্বকের মেরু দুটি সমান ও বিপরীতধর্মী (A magnet has equal and opposite poles) :

আণবিক তত্ত্ব অনুসারে কতকগুলি অণু-চুম্বক সমান্তরাল সজ্জায় সজ্জিত হইয়া চুম্বক গঠন করে। স্বভাবতঃই যতগুলি অণুর মুক্ত উত্তর মেরু চুম্বকের একদিকে থাকে, ঠিক ততগুলি অণুই নিজেদের মুক্ত দক্ষিণ মেরুকে চুম্বকের অপর প্রান্তে রাখে। এইদিক হইতে বিচার করিলে চুম্বকের দুইটি মেরু সমান ও বিপরীত-ধর্মী হওয়াই স্বাভাবিক।

একটি পরীক্ষা দ্বারা এই তথ্যকে প্রমাণ করা যায়।

পরীক্ষা : একটি ছোট দণ্ড চুম্বককে একটি পাতলা কাঠ বা কর্কের উপরে



3·21

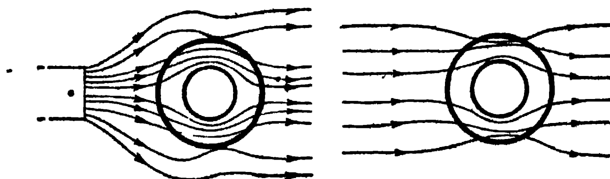
রাখিয়া একটি চওড়া পাত্রের জলে ভাসাইয়া দাও। উহাকে ভাসাইবার সময়ে সতর্ক থাকিবে যেন উহায় কোনদিকে সরণ না থাকে (চিত্র নং 3·21)।

দেখিবে কর্কের টুকরাটি এদিক-ওদিক কয়েকবার দুলিয়া এমনভাবে দাঁড়াইবে যেন চুম্বকটি উত্তর-দক্ষিণ নির্দেশ করে। কর্কটিকে যদি ঘুরাইয়া দেওয়া যায়, উহা আবার উত্তর-দক্ষিণেই ফিরিবে।

ব্যাখ্যা : পরীক্ষার স্থানে পৃথিবীর বলক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য যদি H হয়, তবে চুম্বকের মেরুশক্তি m হইলে, উহার উত্তর মেরুর উপরে উত্তর অভিমুখে mH ডাইন ও দক্ষিণ মেরুর উপরে দক্ষিণ মেরু অভিমুখে mH ডাইন বল ক্রিয়া করিতেছে। যতক্ষণ চুম্বকটি উত্তর-দক্ষিণে না থাকে ততক্ষণ এই দুইটি সমান ও বিপরীতমুখী বল একটি দ্বন্দ্ব হিসাবে কাজ করিতেছে ও চুম্বককে ঘুরাইয়া উত্তর-দক্ষিণে আনিতেছে। একবার চুম্বকটি উত্তর-দক্ষিণে আসিয়া গেলে এই দুইটি mH পরিমাণ সমান ও বিপরীতমুখী বল একই সরলরেখার (উত্তর-দক্ষিণ রেখা) কাজ করিতেছে বলিয়া পরস্পরকে প্রশমিত করিবে।

ফলে চুম্বকের উপর মোট ক্রিয়াশীল বল শূন্য হইবে ও চুম্বকটির কোন সরণ হইবে না।

3.20. চৌম্বক আশ্রিতকরণ (Magnetic Screening) : একটি চৌম্বক বলক্ষেত্রে কাঁচা লোহা, μ-ধাতু প্রভৃতি উচ্চ প্রবেশ্যতা-বিশিষ্ট



3·22

(permeability) কোন পদার্থ রাখিয়া দিলে দেখা যায় বলরেখাগুলি উহার দ্বারা আকৃষ্ট হয় ও উহার মধ্যে ঘন সন্নিবিষ্ট হয় (চিত্র 3·22)।

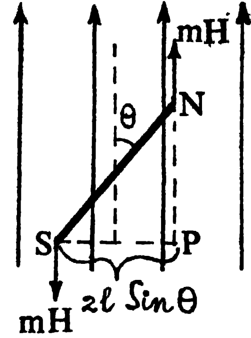
এইরূপ কোন পদার্থের একটি আংটার (ring) আকারের টুকরা চৌম্বক বলক্ষেত্রে রাখিলে এই আংটার ভিতরে ফাঁকা অঞ্চলে কোন চৌম্বক বল থাকে না। এই অঞ্চলে চুম্বক শলাকা রাখিলে তাহা দিক নির্দেশ করিতে পারে না। এই অঞ্চলকে চৌম্বক আশ্রিত অঞ্চল বলা হয়।

যে সমস্ত যন্ত্রের উপরে পার্থিব বা অন্য কোন চৌম্বক বল ক্রিয়া করিলে ক্ষতি হইবার সম্ভাবনা তাহাদের চৌম্বক আশ্রিত করিয়া সেই ক্ষতি বন্ধ করা হয়। তোমরা জান যে মূল্যবান ঘড়িকে অ্যান্টিম্যাগনেটিক করা হয়, অর্থাৎ উহার কাছে কোন চুম্বক আনিলে তাহাতে উহার কোন ক্ষতি হয় না। ঘড়িতে যে সমস্ত ইস্পাতের অংশ থাকে, বাহিরের চুম্বকের বা পৃথিবীর প্রভাবে যাহাতে তাহাদের চুম্বকন হইয়া ঘড়ির ক্ষতি না হয়, সেজন্য ঘড়ির যন্ত্রকে একটি প্রবেশ্যতা-বিশিষ্ট ধাতুর আংটার মধ্যে বসাইয়া রাখা হয় যাহাতে যন্ত্রটি চৌম্বক আশ্রিত হয়।

গ্যালভ্যানোমিটার, অ্যাম্‌মিটার প্রভৃতি যন্ত্রের সূক্ষ্মতা উহার ভিতরে অবস্থিত একটি চুম্বকের ক্রিয়ার উপর নির্ভর করে। বাহিরের কোন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে যাহাতে এই চুম্বকের বলক্ষেত্রে পরিবর্তন না হয় সেজন্য এই যন্ত্রগুলিকেও চৌম্বক আশ্রিত করা হয়।

একটি সূঁচকে চুম্বকিত করিলে উহার ছিদ্রে (eye of the needle) কোন চৌম্বক প্রাবল্য থাকিবে না, কারণ ঐ অঞ্চল চৌম্বক-আশ্রিত।

3.21. চুম্বকের ভ্রামক (Moment of a magnet) : মনে কর H প্রাবল্যবিশিষ্ট একটি সুষম বলক্ষেত্রে m শক্তি বিশিষ্ট ও $2l$ দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট (দৈর্ঘ্য বলিতে চৌম্বক দৈর্ঘ্য বুঝায়) একটি চুম্বককে এমন ভাবে রাখা হইয়াছে যে উহার অক্ষ বলক্ষেত্রের সহিত θ কোণে অবস্থান করিতেছে। তাহা হইলে চুম্বকের উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর উপর mH, mH বল ক্রিয়া করিবে, ও এই বল দুটির অভিমুখ পরস্পর বিপরীত হইবে। ইহার ফলে চুম্বকটি বল-ক্ষেত্রের সমান্তরাল হইতে চেষ্টা করিবে। সুতরাং বলদুটি দ্বন্দ্ব হিসাবে ক্রিয়া করিবে ও SP $= 2l$ Sin θ এই দ্বন্দ্বের বাহু হইবে (চিত্র নং 3·23)।



3.23

সুতরাং দ্বন্দ্বের ভ্রামক (Moment) $= m$H.$2l$ Sin θ।

এখন, θ-কে যদি 90° করা হয় অর্থাৎ চুম্বককে বলরেখার সহিত লম্বভাবে রাখা যায়, তবে ভ্রামক$=m$H. $2l$ (কারণ Sin $\theta = 1$)।

আবার, H যদি 1 হয় তবে ভ্রামকের পরিমাণ $= m \; 2l =$ M (মনে কর)। $2lm =$ M – কে চুম্বকটির ভ্রামক বলা হয়।

অতএব, কোন চুম্বককে যদি একক প্রাবল্য-বিশিষ্ট কোন সুষম বলক্ষেত্রের মধ্যে বলক্ষেত্রের সহিত লম্বভাবে রাখা হয়, তবে উহার উপরে যে দ্বন্দ্ব ক্রিয়া করে সেই দ্বন্দ্বের ভ্রামককে চুম্বকের ভ্রামক বলে। ভ্রামকের পরিমাণ = মেরু শক্তি × চুম্বকের দৈর্ঘ্য।

3.22. চৌম্বক বিভব (Magnetic potential) :

কোন চৌম্বক বলক্ষেত্রে একটি একক শক্তি-বিশিষ্ট উত্তর মেরু রাখিলে উহার উপরে একটি বল ক্রিয়া করিবে, এবং মেরুটি মুক্ত হইলে বলের অভিমুখে উহার সরণ হইবে।

3 3 নং চিত্রে দেখ, A বিন্দুতে অবস্থিত m শক্তি-বিশিষ্ট উত্তর মেরু B বিন্দুতে আনীত একক উত্তর মেরুর উপর $\frac{m}{d^2}$ বল প্রয়োগ করিতেছে।

একক মেরুটি যদি মুক্ত হয় তবে উহা বলের চিহ্নিত অভিমুখে চলিবে। উহা যতদূরে যাইবে বলের পরিমাণ ততই কমিতে থাকিবে, কিন্তু বলের পরিমাণ

কখনই শূন্য হইবে না, অতএব উহার চলনও বন্ধ হইবে না। মাত্র d যখন অসীম হইবে তখনই বলের পরিমাণ শূন্য হইবে। এইবারে যদি একক মেরুটিকে অসীম হইতে B অভিমুখে আনা যায়, তবে উহার উপরে যে বল ক্রিয়া করিতেছে তাহার বিরুদ্ধে কাজ করিয়াই উহাকে আনা সম্ভব হইবে। সুতরাং উহাকে অসীম হইতে B-তে আনিতে কিছুটা শক্তি ব্যয় করিতে হইবে। এই শক্তি একক মেরুর ভিতরে স্থিতিশক্তি হিসাবে সঞ্চিত থাকে, এবং এই শক্তিকেই B বিন্দুতে বলক্ষেত্রের চৌম্বক বিভব বলা হয়।

B বিন্দুতে চৌম্বক বিভবের পরিমাণ $\frac{m}{d}$ হয়।

3.23. **অনুশীলন ঃ**

(i) 15 একক শক্তি বিশিষ্ট কোন মেরু হইতে 10 সেমি. দূরে চৌম্বক প্রাবল্য কত হইবে ?

মেরুশক্তি $m = 15$ C.G.S. একক।

দূরত্ব $d = 10$ সেমি.।

$$\therefore \text{ চৌম্বক প্রাবল্য} = \frac{m}{d^2} = \frac{15}{100} = 0{\cdot}15 \text{ ওরষ্টেড।}$$

(ii) 5 একক ও 6 একক দুইটি মেরু পরস্পর হইতে 3 সেমি. দূরে রহিয়াছে। উহারা পরস্পরের উপর কত বল প্রয়োগ করিতেছে ? (বায়ু মাধ্যম হিসাবে কাজ করিতেছে)।

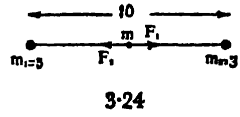
$$\text{বল} = \frac{mm'}{d^2} = \frac{5.6}{9} = 3{\cdot}33 \text{ ডাইন।}$$

(iii) 10 ও 12 একক শক্তিবিশিষ্ট দুইটি মেরু পরস্পর হইতে 6 সেমি. দূরে রহিয়াছে। উহাদের মধ্যে 8 প্রবেশ্যতা বিশিষ্ট মাধ্যম রাখিলে উহাদের পরস্পরের উপরে প্রযুক্ত বল কত হইবে ?

$$\therefore \text{ প্রযুক্ত বল} = \frac{mm'}{\mu d^2} = \frac{10 \times 12}{8 \times 36} = 0{\cdot}417 \text{ ডাইন।}$$

(iv) 5 একক ও 3 একক শক্তি-বিশিষ্ট দুইটি উত্তর মেরু পরস্পর হইতে 10 সেমি. দূরে রহিয়াছে। উহাদের যোগকারী রেখার মধ্যবিন্দুতে একটি 2 একক শক্তির উত্তর মেরু রাখিলে তাহার উপর বল কত হইবে ?

আলোচ্য মেরুর উপরে 5 শক্তিবিশিষ্ট মেরুর বিকর্ষণী বল,



3·24

$$F_1 = \frac{mm_1}{5^2} = \frac{2 \times 5}{25} = 0{\cdot}4 \text{ ডাইন}$$

ঐ মেরুর উপর 3 শক্তিবিশিষ্ট মেরুর বিকর্ষণী বল

$$F_2 = \frac{mm_2}{5^2} = \frac{2 \times 3}{25} = 0{\cdot}24 \text{ ডাইন।}$$

F_1 ও F_2 একই রেখায় পরস্পর বিপরীত মুখে ক্রিয়া করিবে। $F_1 > F_2$,

$\therefore$ লব্ধি বল $= F_1 - F_2 = 0{\cdot}4 - 0{\cdot}24 = 0{\cdot}16$ ডাইন F_1 অভিমুখে।

(v) 100 একক ও 9 একক শক্তির দুইটি উত্তর মেরু পরস্পর হইতে 13 সেমি. দূরে রহিয়াছে। উহাদের যোগকারী রেখার উপরে প্রথম মেরু হইতে 10 সেমি. ও দ্বিতীয় মেরু হইতে 3 সেমি. দূরে অবস্থিত বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য কত হইবে ?

প্রথম মেরুর জন্য আলোচ্য বিন্দুতে প্রাবল্য $F_1 = \frac{m_1}{10^2} = \frac{100}{100} = 1{\cdot}0$ ওরষ্টেড।

দ্বিতীয় মেরুর জন্য প্রাবল্য $F_2 = \frac{m_2}{3^2} = \frac{9}{9} = 1{\cdot}0$ ওরষ্টেড।

মেরু দুইটিই সমধর্মী হওয়ায় প্রাবল্য দুইটির অভিমুখ বিপরীত। অতএব

লব্ধি প্রাবল্য $= F_1 - F_2 = 1 - 1 = 0$।

অতএব আলোচ্য বিন্দুটি উদাসীন হইবে।

(vi) 8 একক ও 6 একক শক্তির একটি উত্তর ও দক্ষিণ মেরু পরস্পর হইতে 10 সেমি. দূরে রহিয়াছে। উভয় মেরু যোগকারী রেখার মধ্যবিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য কত হইবে ?

প্রথম মেরুর জন্য প্রাবল্য $F_1 = \frac{8}{5^2} = 0{\cdot}32$ ওরষ্টেড।



3·25

দ্বিতীয় মেরুর জন্য প্রাবল্য $F_2 = \frac{6}{5^2} = 0{\cdot}24$ ওরষ্টেড

যেহেতু প্রথম মেরুটি উত্তর-ধর্মী ও দ্বিতীয়টি দক্ষিণ-ধর্মী, অতএব প্রথমটির জন্য প্রাবল্য মেরু হইতে বিপরীত অভিমুখে ও দ্বিতীয়টির প্রাবল্য মেরু অভিমুখে হইবে।

অতএব মোট প্রাবল্য $F = F_1 + F_2 = 0{\cdot}32 + 0{\cdot}24 = 0{\cdot}56$ ওরস্টেড, উত্তর মেরু হইতে বিপরীত অভিমুখে।

(vii) : (iv) নং অনুশীলনে উদাসীন বিন্দুর অবস্থান কোথায় হইবে ?

মনে কর [চিত্র নং 3·24] উদাসীন বিন্দুর অবস্থান m_1 মেরু হইতে x সেমি· দূরে ও (স্বভাবতঃই) m_2 মেরু হইতে ($10-x$) সেমি· দূরে। বুঝিয়া দেখ, যেহেতু উভয় মেরু যোগকারী রেখার যে কোন বিন্দুতে উভয় মেরুর প্রাবল্য বিপরীতমুখী অতএব এই রেখারই উপরে কোন বিন্দুতে F_1 ও F_2 সমান হইয়া যাইবে ও সেই বিন্দুটি উদাসীন হইবে।

$$\therefore \text{ সেই বিন্দুতে } F_1 = \frac{m_1}{x^2} = \frac{5}{x^2}$$

$$F_2 = \frac{m_2}{(10-x)^2} = \frac{3}{(10-x)^2}$$

$$\therefore \quad F = F_1 - F_2 = \frac{5}{x^2} - \frac{3}{(10-x)^2} = 0$$

$$\therefore \quad \frac{5}{x^2} = \frac{3}{(10-x)^2} \quad \text{or} \quad 5(10-x)^2 = 3x^2$$

$$\therefore \quad x = 5{\cdot}63 \text{ অথবা } 44{\cdot}36 \text{ সেমি.।}$$

m_1 মেরু হইতে 5·63 সেমি. (ও m_2 মেরু হইতে 4·37 সেমি.) দূরে উদাসীন বিন্দুর অবস্থান হইবে। x-এর দ্বিতীয় মান হইতে মনে হয় m_1 হইতে 44·36 সেমি. (ও m_2 হইতে 34·36 সেমি.) দূরে উদাসীন বিন্দু রহিবে, কিন্তু ইহা m_1 m_2 যোগকারী রেখার বাহিরে হওয়ায় এই বিন্দুতে দুইটি প্রাবল্যের মান সমান হইলেও অভিমুখ এক হইবে, বিপরীত হইবে না, ফলে সেই বিন্দু উদাসীন হইবে না।

(viii) : (vi) নং অনুশীলনে উদাসীন বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় কর।

3·25 নং চিত্র লক্ষ্য করিয়া দেখ, উদাসীন বিন্দু m_1 ও m_2 যোগকারী রেখার উপরে হইবে, কিন্তু m_1 m_2-এর মধ্যে হইবে না, উহার বাহিরে

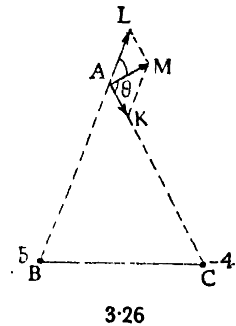
হইবে। আবার যেহেতু $m_1 > m_2$, অতএব উদাসীন বিন্দুর দূরত্ব m_1 হইতে বেশী হইবে ও m_2 হইতে কম হইবে। অর্থাৎ উদাসীন বিন্দু m_1m_2 রেখার উপরে ও m_2-এর দিকে X-এ হইবে।

মনে কর উহার দূরত্ব m_1 হইতে x, অতএব m_2 হইতে $(10-x)$ সেমি.।

$$\therefore \quad \frac{8}{x^2}=\frac{6}{(10-x)^2} \qquad \therefore \quad x=5{\cdot}36 \text{ সেমি. অথবা } 74{\cdot}64 \text{ সেমি.।}$$

প্রথম উত্তরটি হইতে পারে না, কারণ উদাসীন বিন্দু m_1m_2-এর মধ্যে হইবে না; অতএব দ্বিতীয়টিই উত্তর।

(ix) 2 সেমি. বাহু-বিশিষ্ট একটি সমবাহু ত্রিভুজের দুইটি কৌণিক বিন্দুতে 5 একক শক্তির একটি উত্তর মেরু ও 4 একক শক্তির একটি দক্ষিণ মেরু রহিয়াছে। ত্রিভুজের তৃতীয় কৌণিক বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য কত?



3·26

মনে কর ত্রিভুজটি ABC, এবং উহার B ও C বিন্দুতে মেরু দুইটি রহিয়াছে।

A বিন্দুতে 5 একক উত্তর মেরুর প্রযুক্ত প্রাবল্য $=\frac{5}{2^2}=1{\cdot}25$ একক।

A বিন্দুতে 4 একক দক্ষিণ মেরুর প্রযুক্ত প্রাবল্য $=\frac{4}{2^2}=1$ একক।

এই বল দুটিকে যথাক্রমে AL ও AK দ্বারা সূচিত করা হইল। অতএব লব্ধি প্রাবল্য হইবে AM।

$$AM^2=AL^2+AK^2+2AL.AK \text{ Cos } 120^\circ$$

$$=1{\cdot}25^2+1^2-2\times1{\cdot}25\times1\times{\cdot}5=\frac{21}{16}$$

$$\therefore \quad AM=\frac{\sqrt{21}}{4} \text{ একক।}$$

AC বাহুর সহিত AM বলের অভিমুখ θ হইলে,

$$\tan\theta = \frac{AL \text{ Sin } 120^\circ}{AL + AK \text{ Cos} 120^\circ} = \frac{\frac{5}{4} \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{5}{4} - 1 \times \cdot 5}$$

$$= \frac{5\sqrt{3}}{6}।$$

(x) 4 সেমি. বাহু বিশিষ্ট ABCD বর্গক্ষেত্রের চারিটি কৌণিক বিন্দুতে যথাক্রমে 1, 2, 3 এবং 4 একক মেরু রহিয়াছে, ইহাদের মধ্যে প্রথম ও চতুর্থটি উত্তর মেরু এবং দ্বিতীয় ও তৃতীয়টি দক্ষিণ মেরু। বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রবিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য কত?

মনে কর O বিন্দুটি কেন্দ্র বিন্দু। Oa, Ob, Oc ও Od ক্রমান্বয়ে চারিটি মেরুর দরুণ চৌম্বক প্রাবল্য নির্দেশ করিবে।

3·27

O হইতে প্রতিটি কৌণিক বিন্দুর দূরত্ব

$$x = 4 \text{ Cos } 45^\circ = 4 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 2\sqrt{2} \text{ সেমি.।}$$

$$\therefore \quad Oa = \frac{1}{x^2} = \frac{1}{8};$$

$$Ob = \frac{2}{x^2} = \frac{2}{8}$$

$$Oc = \frac{3}{8} \text{ এবং } Od = \frac{4}{8}$$

OC বরাবর মোট প্রাবল্য OL

$$= Oa + Oc = \frac{1}{8} + \frac{3}{8} = \frac{4}{8} = \frac{1}{2} \text{ একক।}$$

এবং OB বরাবর চৌম্বক প্রাবল্য OK

$$= Ob + Od = \frac{2}{8} + \frac{4}{8} = \frac{6}{8} = \frac{3}{4} \text{ একক।}$$

∴ লব্ধি প্রাবল্য OM হইলে

$$OM^2 = OL^2 + OK^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{3}{4}\right)^2$$

(কারণ উভয়ের মধ্যের কোণ = 90°)

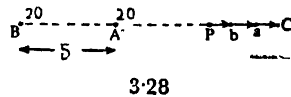
$$= \frac{4+9}{16} = \frac{13}{16}$$

∴ $OM = \frac{\sqrt{13}}{4}$ একক।

$\tan\angle MOC = \frac{OK}{OL} = \frac{3}{4}\Big/\frac{1}{2} = \frac{3}{2}$।

(xi) দুইটি 20 একক শক্তিবিশিষ্ট সম-প্রকৃতির মেরু পরস্পর হইতে 5 সেমি. দূরে রহিয়াছে। উহাদের পরস্পরের উপরে প্রযুক্ত বল নির্ণয় কর। মেরু দুইটি যোগকারী রেখার উপরে বাহিরের দিকে যে কোন মেরু হইতে 5 সেমি. দূরে প্রাবল্য কত হইবে? (C. U. 1957)

পারস্পরিক বল $F = \frac{m.m}{d^2} = \frac{20 \times 20}{25} = 16$ ডাইন।



3·28

P বিন্দুতে A মেরুর জন্য প্রাবল্য,

$$Pa = \frac{20}{AP^2} = \frac{20}{25} = 0{\cdot}8 \text{ ওরষ্টেড};$$

P বিন্দুতে B মেরুর জন্য প্রাবল্য

$$Pb = \frac{20}{BP^2} = \frac{20}{10^2} = \frac{20}{100} = 0{\cdot}2 \text{ ওরষ্টেড}।$$

যেহেতু মেরু দুইটি সম-প্রকৃতির, সুতরাং মোট প্রাবল্য

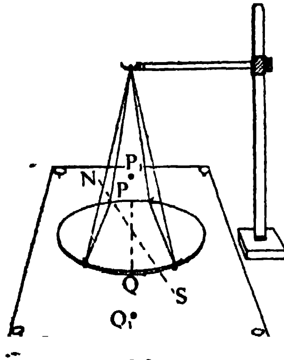
$$Pa + Pb = 0{\cdot}8 + 0{\cdot}2 = 1{\cdot}0 \text{ ওরষ্টেড}।$$

3.24. অনুশীলন :

একটি চাকৃতিকে উহার কোন অজ্ঞাত ব্যাস বরাবর চুম্বকিত করা হইয়াছে। উহার মেরুর অবস্থান কিরূপে নির্ণয় করিবে? (C.U. 1954)

পরীক্ষা : চুম্বকিত চাকৃতিটির কোন পৃষ্ঠে একটি ব্যাস অংকন কর। মনে কর উহা চাকৃতিকে P, Q বিন্দুতে ছেদ করিল। টেবিলের উপরে একটি অচৌম্বক পদার্থের ষ্ট্যাণ্ডে একটি সুতার শিকা (support) প্রস্তুত করিয়া চাকৃতিটি পৃষ্ঠ অনুভূমিক করিয়া ঝুলাইয়া দাও। চাকৃতির ঠিক নীচে টেবিলের

উপরে একটি কাগজ আটকাইয়া দাও। চাকৃতিটি কয়েকবার দুলিয়া কোন অবস্থানে আসিয়া স্থির হইয়া দাঁড়াইল। P,Q-এর অবস্থান P_1Q_1 কাগজের উপরে চিহ্নিত কর। এইবার চাকৃতিটিকে উল্টাইয়া দাও। চাকৃতিটি আবার দুলিয়া স্থির অবস্থানে আসিবে। P, Q-এর নূতন অবস্থান P_2, Q_2 চিহ্নিত কর।



3·29

P_1Q_1 ও P_2Q_2 যোগকারী দুই রেখার মধ্যের কৌণিক বিভাজক রেখা চাকৃতির চৌম্বক অক্ষ নির্দেশ করিবে। এই চৌম্বক অক্ষের দুই প্রান্তবিন্দু চাকৃতির দুই মেরু হইবে।

ঐ বিভাজক রেখা পৃথিবীর চৌম্বক অক্ষও দেখায়।

3.25. **শার্ল্ অগাস্তিন কুলঁ (Charles Augustin Coulomb) :**

(1736-1806)—পেশায় ফরাসী সরকারের উচ্চপদস্থ সামরিক এঞ্জিনীয়ার হইলেও কুলঁ পদার্থ-বিজ্ঞানকে নিজের প্রধান নেশা হিসাবে অবলম্বন করেন। চুম্বক-তত্ত্ব ও তড়িৎ-বিজ্ঞানে তাঁহার গবেষণা অতিশয় মূল্যবান বলিয়া পরিগণিত হইয়াছে, বিশেষতঃ চৌম্বক মেরু বা তড়িৎ-আধানের পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণ সম্বন্ধে তাঁহার ব্যস্তানুপাতিক বর্গ-সূত্রটি বিজ্ঞানের অন্যতম প্রধান সূত্র। তাঁহার সম্মানার্থে তড়িতের ব্যবহারিক এককে "কুলঁ" নাম দেওয়া হইয়াছে।

প্রশ্নমালা

1. সংজ্ঞা লিখ ও ব্যাখ্যা কর :

একক চৌম্বক মেরু, কোন বিন্দুর চৌম্বক প্রাবল্য, চৌম্বক বলরেখা।

চৌম্বক আকর্ষণ ও বিকর্ষণের সূত্র বর্ণনা কর।

চৌম্বক প্রবেশ্যতা কাহাকে বলে ?

Define & Explain :—

Unit magnetic pole, Intensity at a point in a magnetic field, a Magnetic Line of Force.

State the laws of magnetic attraction and repulsion.

What is meant by magnetic permeability ?

2. কোন চৌম্বক বলক্ষেত্রে মুক্ত উত্তর মেরু রাখিলে উহা কি করিবে ? চৌম্বক বলরেখা কাহাকে বলে ? ইহার বিশেষত্ব কি কি ?

How will a North Magnetic pole behave when it is placed in a magnetic field ?

What is meant by a line of force ? What are its characteristics ?

3. একটি দণ্ড-চুম্বককে উত্তর মেরু উত্তর-মুখী করিয়া রাখিলে উহার চৌম্বক বলরেখাগুলির গঠন কিরূপ হইবে দেখাও।

উদাসীন বিন্দু কাহাকে বলে ? এই বিন্দুতে একটি ক্ষুদ্র চৌম্বক শলাকা রাখিলে তাহা কিরূপ ব্যবহার করিবে ও কেন ? কোন চুম্বকের বলক্ষেত্রে কয়টি উদাসীন বিন্দু থাকে ও কেন ?

Show roughly the nature of the lines of force due to a bar magnet placed with its N-pole pointing North.

What is a Neutral point ? How will a small compass needle placed at a neutral point behave, and why ? How many neutral points can the field due to a magnet have and why ?

4. সুষম বলক্ষেত্র কাহাকে বলে ? ইহার বৈশিষ্ট্য কি ? এই বলক্ষেত্রে বলরেখাগুলির গঠন কিরূপ হইবে ? কোন সুষম বলক্ষেত্রের উদাহরণ দাও।

What is a uniform magnetic field ? What is its property ? What is the nature of the lines of force in a uniform magnetic field ? Give an example of a uniform magnetic field.

5. চৌম্বক আশ্রিতকরণ কাহাকে বলে চিত্র সহযোগে বুঝাইয়া দাও। ইহার দু-একটি ব্যবহার বর্ণনা কর।

Explain with diagram what is meant by magnetic screening. Describe some of its uses.

6. চৌম্বক মেরু কাহাকে বলে ? কোন দণ্ড-চুম্বকের চৌম্বক মেরু নির্ণয়ের পদ্ধতি বর্ণনা কর।

What is a magnetic pole ? Describe a method of finding out the poles of a bar magnet.

7. একটি চুম্বকের মেরু দুইটি সম-শক্তি বিশিষ্ট—ইহা কিরূপে পরীক্ষা-মূলকভাবে প্রমাণ করিবে ?

আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে এই সত্যকে ব্যাখ্যা করিতে পার কি ?

A magnet has poles of equal strength—how can you prove it experimentally ?

Can you explain the fact on the basis of molecular theory ?

8. একটি 3 C.G.S. শক্তি-বিশিষ্ট মেরুকে 2·5 ওরষ্টেড চৌম্বক প্রাবল্য-বিশিষ্ট একটি বিন্দুতে রাখিলে উহার উপর কত বল ক্রিয়া করিবে ?

[7·5 ডাইন]।

What will be the force acting on a magnetic pole of 3 C.G.S. unit strength placed at a point of intensity 2·5 oersted ?

9. 10 সেমি. দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট একটি দণ্ড-চুম্বকের উত্তর মেরু যে প্রান্তে অবস্থিত সেই প্রান্তে চুম্বকের মধ্যবিন্দু হইতে 12 সেমি. দূরে চৌম্বক অক্ষের উপরে চৌম্বক প্রাবল্য কত হইবে ? চুম্বকের শক্তি 5 C.G.S. একক।

[·085 ওরষ্টেড, চুম্বক হইতে বিপরীত দিকে অক্ষ বরাবর]।

What will be the intensity due to a bar magnet at a point on its magnetic axis 12 cm. away from its middle point and on the side of its N-pole ? The pole strength of the magnet is 5 C.G.S. units.

10. 10 C.G.S. মেরু-শক্তি ও 8 সেমি. দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট একটি চুম্বকের মধ্যবিন্দুতে চৌম্বক অক্ষের উপর অভিলম্ব রেখায় মধ্যবিন্দু হইতে 3 সেমি. দূরে চৌম্বক প্রাবল্য কত হইবে ? [0·64 ওরষ্টেড, চৌম্বক অক্ষের সমান্তরাল ও NS অভিমুখে]।

You are given a bar magnet of strength 10 C.G.S. and length 8 cm. Find the intensity 3 cm. away on the line normal to the magnetic axis and passing through the centre.

11. ব্যাখ্যা কর :

(*i*) কোন চুম্বকের ভ্রামক 360 একক।

(*ii*) কোন চৌম্বক বলক্ষেত্রের একটি বিন্দুতে চৌম্বক বিভব 0·3 একক।

Explain :—

(*i*) The moment of a magnet is 360 units.

(*ii*) The potential at a point in a magnetic field is 0·3 unit.

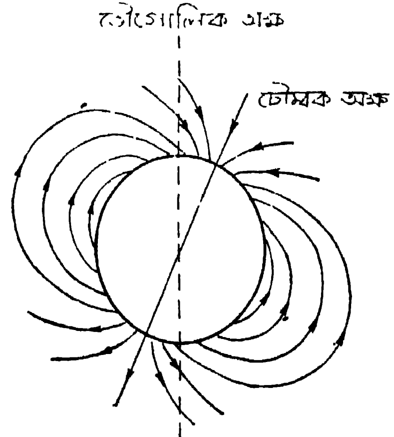
চতুর্থ পরিচ্ছেদ

ভূ-চুম্বকত্ব

(Terrestrial Magnetism)

4.1. পৃথিবীর চুম্বকত্ব (Earth's Magnetism) : পৃথিবী স্বয়ং একটি বিরাট চুম্বক হিসাবে কাজ করে। একটি চুম্বক-শলাকা মুক্ত অবস্থায় উত্তর-দক্ষিণ মুখী হইয়া দাঁড়ায়। সুতরাং ইহার দুইটি মেরুর উপর পৃথিবীর মেরুর আকর্ষণী বল ক্রিয়া করে। চুম্বকের উত্তর মেরু পৃথিবীর উত্তর দিকে মুখ করে, সুতরাং পৃথিবীর উত্তর প্রান্তে যে চৌম্বক মেরু আছে তাহা চুম্বকের উত্তর মেরুর বিপরীত ধর্মী।

পৃথিবী কেন চুম্বক, তাহার কারণ এখনও সম্পূর্ণ জানা যায় নাই। পৃথিবীর চৌম্বক বলক্ষেত্রের আকৃতির সম্পূর্ণ ব্যাখ্যাও পাওয়া যায় নাই।



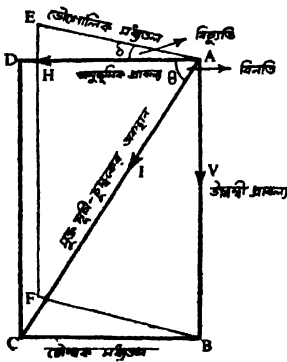
4·1
পৃথিবীর চৌম্বক বলক্ষেত্র

তবে একটি গোলককে চুম্বকিত করিলে তাহার বলরেখা পৃথিবীর বলরেখার অনুরূপ হয় দেখা গিয়াছে। কিন্তু এই সাদৃশ্য খুব ঘনিষ্ঠ নয়।

পৃথিবীর চৌম্বক মেরুদুইটি উহার ভৌগোলিক মেরু হইতে স্বতন্ত্র। চৌম্বক উত্তর মেরু কানাডাতে 71° উত্তর অক্ষাংশ ও 96° পশ্চিম দ্রাঘিমাংশে অবস্থিত, এবং দক্ষিণ মেরু আন্টার্কটিকার কাছে সাউথ ভিক্টোরিয়া ল্যাণ্ড নামক স্থানে 73° দক্ষিণ অক্ষাংশ ও 156° পূর্ব দ্রাঘিমাংশে অবস্থিত। ভৌগোলিক ও চৌম্বক মেরুর পরস্পর দূরত্ব প্রায় 1500 মাইল। আরও অদ্ভুত ব্যাপার হইল এই যে পৃথিবীর দুই চৌম্বক মেরু যোগ করিয়া যে চৌম্বক অক্ষ পাওয়া যায় তাহা পৃথিবীর কেন্দ্র দিয়া গমন করে না।

পৃথিবীর চৌম্বক বলরেখাগুলি বক্র বটে, কিন্তু পৃথিবীর দুই চৌম্বক মেরু পরস্পরের এত দূরে অবস্থিত যে, কোন স্থান দিয়া যে কয়েকটি বলরেখা যায় তাহারা ঐ স্থানে প্রায় সরলরেখা ও পরস্পর সমান্তরাল। সেইজন্য যে কোন স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক বলক্ষেত্রকে একটি সুষম বলক্ষেত্র বলিয়া কল্পনা করা হয়।

4.2. চৌম্বক মধ্যতল (Magnetic Meridian) : একটি সরু ইস্পাতের তারকে উহার ভারকেন্দ্রে পাকবিহীন সুতার সাহায্যে ঝুলাইয়া দিলে উহা অনুভূমিক তলে অবস্থান করে এবং সুতাকে ঘুরাইয়া উহাকে উত্তর-দক্ষিণ বা পূর্ব-পশ্চিম যে কোন অভিমুখে রাখা যায়। কিন্তু ইহাকে যদি চুম্বকিত করিয়া ঝুলানো যায় তবে দেখা যায় যে ইহা অনুভূমিক তলের সহিত একটি কোণে এবং উত্তর-দক্ষিণে মুখ করিয়া একটি নির্দিষ্ট দিকে অবস্থান করে। এই অবস্থায় তারটি পৃথিবীর চুম্বকীয় বলরেখায় অবস্থান করে। উহা যে রেখায় থাকে সেই রেখায় যদি একটি উল্লম্বী তল কল্পনা করা যায় তবে এই উল্লম্বী তলটিকে ঐ স্থানের চৌম্বক মধ্যতল বলা হয়। ঐ স্থানের ভৌগোলিক উত্তর ও দক্ষিণ মেরু যোগকারী যে তল তাহাকে ভৌগোলিক মধ্যতল (Geographical meridian) বলা হয়। সাধারণতঃ একস্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতল এক হয় না, উভয়ের মধ্যে সামান্য কৌণিক ব্যতিক্রম থাকে।



4·2

চিত্র নং 4·2-তে ভৌগোলিক ও চৌম্বক মধ্যতল এবং উহাদের কৌণিক ব্যতিক্রম দেখিতে পাইবে।

চৌম্বক মধ্যতলের সংজ্ঞা : কোন চুম্বককে পৃথিবার বলক্ষেত্রে রাখিয়া সম্পূর্ণ মুক্ত অবস্থায় নিজের ভারকেন্দ্রের উপরে ঝুলাইয়া দিলে উহা যে উল্লম্বী তলে অবস্থান করিবে সেই তলকে সেই স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক মধ্যতল বলা হয়। পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্য এই তলেই ক্রিয়া করে।

4·2 নং চিত্রে দেখ, মুক্ত সূচী চুম্বক AC রেখায় অবস্থান করিত। এই

রেখা দিয়া আমরা যে উল্লম্বী তল ABCD কল্পনা করিতে পারি তাহাই এই স্থানের চৌম্বক মধ্যতল।

আমরা সাধারণতঃ সম্পূর্ণ মুক্ত চুম্বক ব্যবহার করিতে পারি না। যে চুম্বক-শলাকা চৌম্বক পরীক্ষায় ব্যবহৃত হয় তাহা সূচ্যগ্র দণ্ডের (pivot) উপরে বসানো থাকে ; এইরূপ শলাকা কেবলমাত্র অনুভূমিক তলে ঘুরিতে পারে, উল্লম্বী তলে ঘোরা ইহার পক্ষে সম্ভব নয়। অবশ্য এই প্রকার সূচী-চুম্বক ব্যবহার করিলে তাহাও ঘুরিয়া চৌম্বক মধ্যতলে আসিয়া দাঁড়ায় তবে ইহার অবস্থান AC রেখায় হয় না, AD রেখায় হয়। তবু এই রেখা দিয়া উল্লম্বী তল আঁকিলে তাহাও চৌম্বক মধ্যতলই হইবে। সুতরাং চুম্বক শলাকার সাহায্যেও চৌম্বক মধ্যতল বাহির করা যায়।

4.3. চৌম্বক মূলরাশি (Magnetic Elements) : কোন স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্যকে জানা বিশেষ প্রয়োজন। যে কোন চুম্বকের বলক্ষেত্র হইতে আরম্ভ করিয়া মহাজাগতিক রশ্মির (Cosmic Rays) গতিপথ প্রভৃতি নানা বৈজ্ঞানিক তথ্যের মধ্যে পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্যের প্রভাব লক্ষিত হয়।

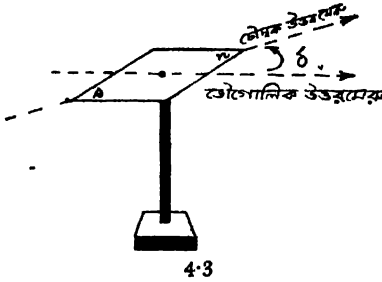
ইস্পাতের সরু চুম্বককে ভারকেন্দ্রে ঝুলাইলে দেখা যায় যে উহা অনুভূমিক না থাকিয়া অনুভূমিক রেখার সহিত সামান্য বাঁকিয়া থাকে। ইহাতে প্রমাণ হয় যে কোন স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্র সাধারণতঃ অনুভূমিক হয় না, অনুভূমিক রেখার সহিত কিছুটা বাঁকিয়া থাকে। তাহাছাড়া পৃথিবীর চৌম্বকও ভৌগোলিক মেরু এক না হওয়ায় ভৌগোলিক মধ্যরেখা ও চৌম্বক মধ্যরেখা ভিন্ন হয়। দেখা যায় যে তিনটি রাশির উপর ভিত্তি করিয়া যে কোন স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্যের সম্পূর্ণ জ্ঞান লাভ করা যায়। এই তিনটি রাশিকে পৃথিবীর চৌম্বক মূলরাশি বলে। ইহাদের নাম (i) বিচ্যুতি, (ii) বিনতি ও (iii) পৃথিবীর অনুভূমিক প্রাবল্য।

4.4. বিচ্যুতি (Declination) : কোন স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতলের ভিতরের কোণকে ঐ স্থানের বিচ্যুতি বলে।

4·2 নং চিত্রে ABFE তল কোন স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল ও ABCD চৌম্বক মধ্যতল। ইহাদের মধ্যে EAD কোণ ঐ স্থানের বিচ্যুতি নির্দেশ করে। আমরা বিচ্যুতিকে δ দ্বারা সূচিত করিব।

একটি সূচী চুম্বক অন্য কোন চুম্বকের প্রভাব হইতে মুক্ত থাকিলে উহা

পৃথিবীর চৌম্বক উত্তর মেরু নির্দেশ করিবে ও চৌম্বক মধ্যতলে অবস্থান করিবে। ঐ স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল জানা থাকিলে উভয়ের মধ্যের কোণকে মাপিয়া ঐ স্থানের বিচ্যুতি জানা যায়। (চিত্র নং 4·3)।

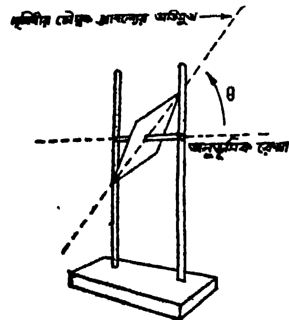


4·3

কোন স্থানের বিচ্যুতি 3°13′ পশ্চিমে বলিতে বুঝিতে হইবে যে ঐ স্থানে চৌম্বক মধ্যতল ও ভৌগোলিক মধ্যতলের ভিতরে 3°13′ কোণ রহিয়াছে ও কোন মুক্ত কম্পাসকে ঐ স্থানে রাখিলে তাহার উত্তর মেরু ভৌগোলিক মধ্যতল হইতে পশ্চিমে থাকিবে।

4.5. বিনতি (Dip or Inclination) ঃ কোন স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্য অনুভূমিক রেখার সহিত যে কোণ করিয়া থাকে তাহাকে সেই স্থানের বিনতি বলে।

4·2 নং চিত্রে দেখ, কোন চুম্বককে সম্পূর্ণ মুক্ত অবস্থায় নিজের ভারকেন্দ্রে ঝুলাইয়া দিলে উহা পৃথিবীর চৌম্বক মধ্যতলে আসিয়া পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্যের অভিমুখে অবস্থান করিবে, অর্থাৎ উহা AC রেখায় অবস্থান করিবে। এই স্থানে AD অনুভূমিক রেখার সহিত উহার অভিমুখ DAC কোণ করিতেছে। এই কোণকেই ঐ স্থানের বিনতি বলে। চুম্বক শলাকা অনুভূমিক তল হইতে কিছুটা বাঁকিয়া অর্থাৎ ডুবিয়া থাকে বলিয়াই এই কোণকে dip বা নিমজ্জন বলা হয়। বিনতিকে চিত্রে θ দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে।



4·4

আমরা যদি একটি চুম্বক শলাকাকে এমন ভাবে রাখিতে পারি যে উহা উল্লম্বী তলে মুক্ত অবস্থায় ঘুরিতে পারে, তবে সেই শলাকাকে ভার-কেন্দ্রে ঝুলাইয়া চৌম্বক মধ্যতলে আনিলে উহা পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্য

অনুসরণ করিবে ও উহার চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিক রেখার সহিত যে কোণ করিবে তাহাই বিনতি (চিত্র নং 4·4)।

4.6. **পৃথিবীর অনুভূমিক প্রাবল্য (Earth's Horizontal Intensity):** পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশকে (component) অনুভূমিক প্রাবল্য বলে।

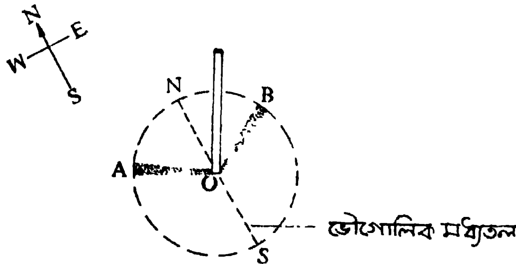
4·2 নং চিত্রে AC ভেক্টর দ্বারা পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্য I-কে সূচিত করা হইয়াছে। পৃথিবীর অনুভূমিক প্রাবল্য হইবে AD ভেক্টর। ইহাকে H দ্বারা সূচিত করা হয়। বিনতি কোণ যদি θ হয়, তবে $H = I \cos\theta$।

পৃথিবীর চৌম্বক মূলরাশি নির্ণয়

4.7. **বিচ্যুতি নির্ণয়:** কোন স্থানের বিচ্যুতি নির্ণয় করিতে গেলে সেই স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল ও চৌম্বক মধ্যতল নির্ণয় করিতে হয়। এই দুই তলের মধ্যের কোণই সেই স্থানের বিচ্যুতির পরিমাণ দেয়।

অতএব বিচ্যুতি নির্ণয়ের পরীক্ষার দুইটি অংশ—(i) ভৌগোলিক মধ্যতল নির্ণয় ও (ii) চৌম্বক মধ্যতল নির্ণয়।

(i) ভৌগোলিক মধ্যতল নির্ণয় (Determination of Geographical Meridian of a place): খোলা জায়গায় একটি কাঠি মাটিতে পুঁতিয়া



4·5

ভৌগোলিক মধ্যতল নির্ণয়

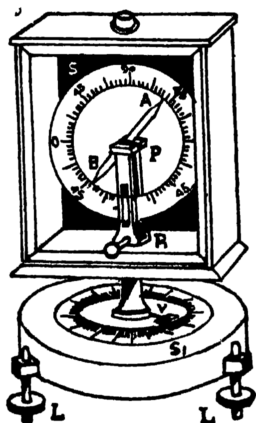
তাহাকে কেন্দ্র করিয়া একটি বৃত্ত অংকন করিতে হয়। সকালে সূর্যোদয়ের পরে পশ্চিম দিকে কাঠিটির গোড়া হইতে একটি দীর্ঘ ছায়ার সৃষ্টি হয়। বেলা বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে সূর্য যত উচ্চে উঠিতে থাকে ছায়াটির দৈর্ঘ্য ততই কমিতে থাকে। অবশেষে উহা যখন বৃত্তকে স্পর্শ করে তখন স্পর্শ বিন্দুতে (A) একটি দাগ আঁকিতে হয়। সূর্য আরও উচ্চে উঠিতে থাকিলে ছায়াটি হ্রস্ব হইতে

থাকে ও স্থানীয় সময় বেলা বারোটার সময়ে উহা ক্ষুদ্রতম হয়। বারোটার পরে সূর্য পশ্চিমে হেলিয়া পড়ে ও ছায়া পূর্বে চলিয়া যায়। এইবার ছায়াটি বাড়িতে বাড়িতে পূর্ব প্রান্তে একসময়ে বৃত্তকে স্পর্শ করে। সেইস্থানে আর একটি দাগ (B) আঁকিতে হয়। এই দুই স্পর্শ-বিন্দুকে কাঠির পাদবিন্দু O-এর সহিত যোগ করিয়া যে কোণ AOB পাওয়া যায়, সেই কোণকে দ্বিধা-বিভক্ত-কারী রেখা NS ঐ স্থানের ভৌগোলিক মধ্যতল নির্দেশ করে।

(ii) **চৌম্বক মধ্যতল নির্ণয়**—বিনতি-বৃত্ত (Dip Circle) : বিনতি-বৃত্ত নামক যন্ত্রের সাহায্যে সূক্ষ্মভাবে কোন স্থানের চৌম্বক মধ্যতল ও বিনতি উভয়ই নির্ণয় করা যায়।

একটি চুম্বককে সম্পূর্ণ মুক্ত অবস্থায় নিজের ভারকেন্দ্রে ঝুলাইয়া দিলে উহা চৌম্বক মধ্যতলে থাকিবে ও পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করিবে; তখন অনুভূমিক রেখার সহিত উহার আনতি হইতে সেই স্থানের বিনতি পাওয়া যায়।

কিন্তু কোন চুম্বককে এতটা মুক্ত অবস্থায় রাখা যায় না। তবে তাহার পরিবর্তে উল্লম্বী তলে নিজের ভারকেন্দ্রের উপরে ঘুরিতে সক্ষম কোন চুম্বককে যদি আমরা চৌম্বক মধ্যতলে লইয়া যাই, তবে তাহা পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করিবে ও তাহার অবস্থান হইতে সেই স্থানের বিনতি পাওয়া যাইবে। বিনতি বৃত্তে এই নীতিই অবলম্বিত হয়।



4·6
বিনতি-বৃত্ত

এই যন্ত্রে একটি চুম্বক শলাকা AB (চিত্র নং 4·6) নিজের ভারকেন্দ্রে একটি অনুভূমিক সূচীমুখ P-এর উপরে বসানো থাকে, ফলে উহা উল্লম্বী তলে মুক্ত অবস্থায় ঘুরিতে পারে।

সূচীমুখ শলাকা P একটি উল্লম্ব ডিগ্রী স্কেল S-এর কেন্দ্রে বসানো থাকে, ফলে AB চুম্বকের অবস্থান ঐ স্কেল হইতে পাঠ করা যায়। S-স্কেলটি 0° – 90° চারিটি বৃত্ত-পাদে বিভক্ত।

ডিগ্রী স্কেল S-কে একটি উল্লম্ব অক্ষ R-এর চারিপাশে ঘুরানো যায়, এবং

এই ঘূর্ণনের পরিমাণ একটি অনুভূমিক ডিগ্রী স্কেল S_1 হইতে পাঠ করা যায়। এই পাঠকে V ভার্ণিয়ার দ্বারা মিনিটের হিসাবে লওয়া যায়। L, L স্ক্রু-এর সাহায্যে সমস্ত যন্ত্রটিকে অনুভূমিক করা যায়।

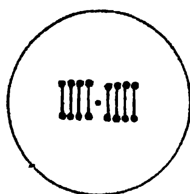
পদ্ধতি : প্রথমে সমস্ত যন্ত্রটিকে অনুভূমিক করা হয়। এখন R অক্ষকে কেন্দ্র করিয়া S স্কেল ও উহার সহিত AB চুম্বক-শলাকাকে ঘুরানো হইতে থাকে, যে পর্যন্ত না AB উল্লম্ব হয় ও 90°, 90° পাঠ দেয়। এখন AB নিশ্চয় চৌম্বক মধ্যতল হইতে 90° কৌণিক সরণে রহিয়াছে। চুম্বক-শলাকার চৌম্বক মধ্যতলে অবস্থানে উহার উপর পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক ও উল্লম্বী উপাংশ কাজ করে। কিন্তু কোন চুম্বক যদি চৌম্বক মধ্যতল হইতে $\theta°$ কৌণিক অপসৃত অবস্থায় থাকে, তবে তাহার উপর H কাজ করিতে পারে না, H-এর উপাংশ $H \cos \theta$ মাত্র কাজ করে, কিন্তু উল্লম্বী উপাংশ V পূর্ণ-মাত্রায়ই কাজ করিতে সক্ষম হয়। যখন চুম্বকটি চৌম্বক মধ্যতল হইতে 90° সরণে থাকে, তখন H-এর কার্যক্ষম উপাংশ হয় $H \cos 90° = 0$, কিন্তু V ঠিকই কাজ করিতে পারে। ফলে চুম্বকটি মুক্ত হইলে তখন শুধুমাত্র V-এর প্রভাবাধীন থাকে বলিয়া উল্লম্ব হইয়া অবস্থান করে। অতএব AB শলাকা যখন উল্লম্ব হইয়া গেল তখন বুঝিতে হইবে যে উহা চৌম্বক মধ্যতল হইতে 90° সরিয়া রহিয়াছে। S_1 স্কেল হইতে উহার অবস্থান পাঠ করিয়া উহাকে R অক্ষের উপর 90° ঘুরাইলে যন্ত্রটি ও চুম্বক শলাকা AB চৌম্বক মধ্যতলে আসিবে। এখন চুম্বকের অবস্থান হইতে চৌম্বক মধ্যতল জানিতে পারা যায়। ভৌগোলিক মধ্যতল জানিলে ইহার বিচ্যুতিও মাপা যায়। S স্কেলে AB চুম্বক-শলাকার অবস্থান হইতে ঐ স্থানের বিনতিও মাপিতে পারা যায়।

4.8. বিনতি নির্ণয় : বিনতি-বৃত্ত হইতে উপরের পদ্ধতিতে বিনতি মাপা যায়।

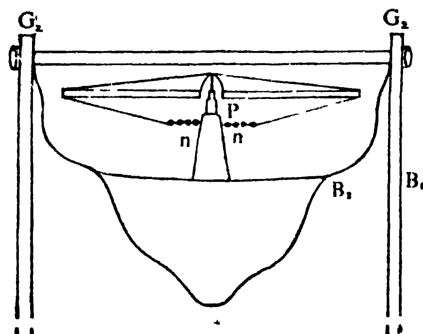
4.9. অনুভূমিক প্রাবল্য নির্ণয় : ম্যাগনেটোমিটার নামক যন্ত্রের সাহায্যে কোন স্থানে পৃথিবীর অনুভূমিক প্রাবল্য মাপিতে পারা যায়।

4.10. নৌ-কম্পাস বা নৌ-দিগ্‌দর্শী (Mariner's Compass) : অনুভূমিক তলে ঘুরিতে সক্ষম চুম্বক মুক্ত অবস্থায় চৌম্বক উত্তর ও দক্ষিণ নির্দেশ করিবে। এই তথ্যের উপরে ভিত্তি করিয়া নৌ-কম্পাস নির্মিত হয়। জাহাজের দোলন সত্ত্বেও যাহাতে কম্পাস সঠিক দিক নির্ণয় করিতে পারে এই যন্ত্রে তাহারও ব্যবস্থা থাকে।

নৌ-কম্পাসে আটটি ছোট চুম্বক শলাকা পাশাপাশি বসাইয়া একটি কার্ড-বোর্ডের চাকৃতির নীচে বাঁধা হয় (চিত্র নং 4·7)। কার্ডবোর্ডের চাকৃতির কেন্দ্রে একটি পিতলের আংটা থাকে। ঐ আংটার কেন্দ্রে একটি অ্যাগেট পাথরের টুকরার সাহায্যে কার্ডবোর্ডের চাকৃতিটি একটি সূচীমুখ শলাকা P-এর উপরে বসানো থাকে ও P-এর চারিপাশে ঘুরিতে পারে (চিত্র 4·8)। কার্ডবোর্ডের চাকৃতিটির উপরে বিভিন্ন দিকের নির্দেশ থাকে ও উহা বত্রিশ ভাগে ভাগ করা থাকে (চিত্র 4·9)। সমস্ত যন্ত্রটি একটি অর্ধ-গোলকাকৃতি পিতলের পাত্র (hemispherical bowl) B_3-এর ভিতরে



4·7

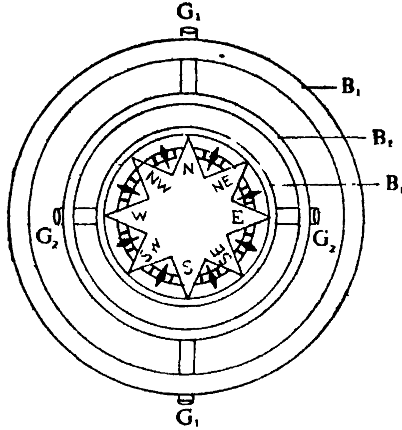


4·8

নৌ-কম্পাসের প্রস্থচ্ছেদ (Cross Section)

ঝুলানো থাকে। এই পাত্রটিকে এক জোড়া আংটা G_2-এর সাহায্যে আর একটি বাটির (B_2) মধ্যে ঝুলানো হয়। ফলে এই আংটা-দুটির যোগকারী G_2-G_2 রেখাকে অক্ষ করিয়া B_3 বাটিটি ঘুরিতে পারে। B_2 বাটিকে আবার আরেক জোড়া আংটা G_1,G_1-এর সাহায্যে তৃতীয় বাটি B_1-এর মধ্যে ঝুলানো হয় (চিত্র 4·9)। ফলে B_2 বাটি G_1-G_1 অক্ষকে কেন্দ্র করিয়া দুলিতে পারে। G_1-G_1 অক্ষ ও G_2-G_2 অক্ষ পরস্পর সমকোণে থাকায় ভিতরের কম্পাসটি দুইটি সমকোণী অক্ষের চারিপাশে দুলিতে সক্ষম হয়, ফলে জাহাজের দোলানীর ফলে যন্ত্রটি যে কোন দিকে কাত্ হইয়া গেলেও নিজের ভারে B_3 উল্লম্বী অবস্থায় থাকিতে সক্ষম হয়। G_1-G_1 বা G_2-G_2 আংটার এই ধরণের সজ্জাকে বলয় সজ্জা (Gimbal Mounting) বলা হয়।

কোন স্থানে কম্পাসের যে পাঠ তাহার সহিত ঐ স্থানের বিচ্যুতি যোগ বা বিয়োগ করিয়া ভৌগোলিক উত্তর দিক পাওয়া যাইবে।



4·9
উপর হইতে নৌ-কম্পাসের আকার

কম্পাসের পাঠকে স্থানীয় বিচ্যুতি, জাহাজের বিভিন্ন লৌহ-নির্মিত অংশের প্রভাব প্রভৃতির জন্য শুদ্ধ করিয়া তবে সঠিক দিক নির্ণয় করা যায়।

আরও আধুনিক কম্পাসে চাকৃতিটি অভ্রে নির্মিত হয় ও উহা একটি তরলের ভিতরে ভাসানো থাকে। ফলে শলাকার ঘর্ষণের সম্ভাবনা বন্ধ হয়।

4.11. চৌম্বক মূলরাশির সরণি

স্থান	অনুভূমিক প্রাবল্য	বিনতি	বিচ্যুতি	স্থান	অনুভূমিক প্রাবল্য	বিনতি	বিচ্যুতি
	H ওরষ্টেড	θ	δ		H ওরষ্টেড	θ	δ
কলিকাতা	0·37	30°	$1\frac{1}{4}$° প.	লণ্ডন	0·18	67°	10° প.
বোম্বাই	0·38	23°	$1\frac{1}{2}$° প.	নিউইয়র্ক	0·18	72°	10° প.
দিল্লী	0·35	42°	0	চৌম্বক মেরু	0	90°	—

4.12. চুম্বক ও চৌম্বক বলক্ষেত্রের ব্যবহারিক প্রয়োগ :

(i) **দিক-নির্ণয়ে** চুম্বকের ব্যবহারের কথা তোমরা জানিয়াছ।

(ii) **লৌহকে আকর্ষণ** করিবার গুণের জন্য ইস্পাত-শিল্পে বড় বড় তড়িচ্চুম্বক লৌহের টুকরাকে স্থানান্তরণের কাজে ব্যবহৃত হয়।

(iii) **টেলিফোন ও মাইক্রোফোনে** চুম্বক লাগে।

(iv) মাটির নীচে কোন স্থানে লৌহ-ঘটিত আকর থাকিলে সেই স্থানে ভূ-চৌম্বক মূলরাশির ব্যতিক্রম দেখা যায়। এমন কি স্বর্ণ, প্ল্যাটিনাম প্রভৃতি মূল্যবান অচৌম্বক পদার্থের বেলায়ও (সামান্য) ব্যতিক্রম হয়। তখন সেই স্থানে মাটি খুঁড়িলে আকরিক পাওয়া যায়।

সাধারণতঃ পেট্রোলিয়াম খনির চারিপাশে ম্যাগ্‌নেটাইট ও হেমাটাইট নামক আকরিক লৌহের স্তূপ থাকে। সেখানে চুম্বক-শলাকার ব্যবহার দেখিয়া তৈলের অস্তিত্ব জানিতে পারা যায়।

(v) পদার্থবিজ্ঞানের আধুনিকতম যন্ত্রপাতিতে চুম্বকের ব্যবহার করিতে হয়।

4.13. অনুশীলন :

(i) কোন স্থানের অনুভূমিক প্রাবল্য 0·24 ওরষ্টেড ও বিনতি 20°। সেই স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্য কত ?

আমরা জানি,

$$H = I \cos \theta$$

$$\therefore \quad I = H \sec \theta = 0{\cdot}24 \sec 20° = 0{\cdot}255 \text{ ওরষ্টেড।}$$

এই বল অনুভূমিক রেখার সহিত 20° কোণে ক্রিয়া করিবে।

4.14. পৃথিবীর চুম্বকত্বের কারণ : পৃথিবী কেন চুম্বক হিসাবে কাজ করে তাহা সঠিক জানা যায় নাই। এ সম্বন্ধে নানারূপ বৈজ্ঞানিক মতবাদ প্রচলিত আছে।

একটি মত অনুসারে পৃথিবীর ভিতরে একটি স্থায়ী চুম্বক রহিয়াছে।

আর একদল বিজ্ঞানী বলেন যে পৃথিবীর কক্ষপথ একটি চৌম্বক বলক্ষেত্রের মধ্যে অবস্থিত বলিয়া পৃথিবী আবিষ্ট চুম্বকত্ব লাভ করিয়াছে।

তৃতীয় একটি মতে পৃথিবীর ভিতরে বিভিন্ন স্থানে সর্বদা তড়িৎ-প্রবাহ চলিতেছে বলিয়া পৃথিবী চুম্বক হিসাবে কাজ করে।

চতুর্থ মতানুসারে বায়ুমণ্ডলের কতকগুলি আয়নিত স্তর পৃথিবীকে চুম্বকে পরিণত করিয়াছে।

এই মতগুলির কোনটিই পৃথিবীর চৌম্বক ব্যবহারকে সম্পূর্ণ ব্যাখ্যা করিতে পারে না। সম্ভবতঃ ইহাদের, এবং আরও কতকগুলি কারণের সম্মিলিত ফলই পৃথিবীর চুম্বকত্ব।

উইলিয়াম গিলবার্ট (William Gilbert) : (1540—1603)—রাণী এলিজাবেথের যুগের এক খ্যাতনামা বিজ্ঞানী ডাঃ গিলবার্ট সম্বন্ধে মনীষি বেকন বলেন, পরীক্ষার উপরে ভিত্তি করিয়া বিজ্ঞানের সৌধ নির্মাণের কার্যে তিনি জীবন্ত উদাহরণ। এলিজাবেথের শেষ জীবনে গিলবার্ট তাঁহার ব্যক্তিগত চিকিৎসক ছিলেন।

চুম্বকত্বে গিলবার্টের প্রচুর অবদান রহিয়াছে। তিনি লৌহ-গোলককে চুম্বকিত করিয়া তাহার চৌম্বক বলক্ষেত্রের সহিত পৃথিবীর চৌম্বক বলক্ষেত্রের সাদৃশ্য দেখান ও পৃথিবী একটি গোলকাকৃতি চুম্বক এই তথ্য নির্ণয় করেন।

প্রশ্নমালা

1. পৃথিবী একটি চুম্বক—আলোচনা কর।
Discuss—Earth is a magnet.

2. পৃথিবীর চুম্বকত্ব সম্বন্ধে তুমি যাহা জান বর্ণনা কর।
Describe what you know about Earth's magnetism.
(Cf. H. S. 1960 ; C. U. 1927, 45 ; Dac. 1933)

3. 'পৃথিবীর চৌম্বক মূলরাশি' বলিতে কি বুঝায় ব্যাখ্যা কর। ইহাদের এইরূপ নামকরণের সার্থকতা কি ?

Explain what is meant by the "Elements of Earth's Magnetic Field." What is the justification of such a name ?
(Al. 1946)

4. কোন স্থানের বিচ্যুতি বাহির করিবার একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর। বিচ্যুতি জানা থাকিলে দিক্-নির্ণয় সহজ হয়—কেন ?

Describe a method to determine the declination of a place. Why is it that direction-finding becomes easy if one knows the declination ?

5. সংজ্ঞা লিখ ও ব্যাখ্যা কর :

কোন স্থানের চৌম্বক মধ্যতল, অনুভূমিক প্রাবল্য, বিচ্যুতি, বিনতি।

Define and explain—

Magnetic Meridian, Earth's Horizontal Intensity, Declination and Dip at a place. (Pat. 1931, 44 ; Mad. 1929)

6. বিনতি কাহাকে বলে ?

বিনতি-বৃত্তের বর্ণনা দাও ও ইহার সাহায্যে কি ভাবে কোন স্থানের বিনতি নির্ণয় করিবে বল।

বিনতি-বৃত্তের সাহায্যে বিচ্যুতি নির্ণয় সম্ভব কি ? কিরূপে ইহা করিবে ?

What is meant by 'Dip' ?

Describe a Dip-circle and explain how you can use it to determine the dip at a place. (Pat. 1:40, 41, 48 ; Al. 1931)

Is it possible to determine the declination at a place with the help of a Dip-circle ? How can it be done ?

7. কোন স্থানের ভূ-চৌম্বক প্রাবল্য ও অনুভূমিক প্রাবল্যের সম্বন্ধ কি ?

এক সহরের অনুভূমিক প্রাবল্য 0·22 ওরষ্টেড ও বিনতি 17°10′। ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক প্রাবল্য কত ? [0·23 ওরষ্টেড]।

What is the relation between the Intensity of Earth's Field and Earth's Horizontal Intensity at a place ?

The Earth's horizontal intensity in a locality is 0·22 Oersted and dip, 17°10. Find the value of the Intensity of Earth's field at that place.

8. ব্যাখ্যা কর—

(i) কলিকাতার বিচ্যুতি 1°17′ পশ্চিম ;

(ii) কলিকাতার বিনতি 30° ;

(iii) কলিকাতায় ভূ-চৌম্বক বলক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য 0·37 ওরষ্টেড।

কলিকাতায় মোট ভূচৌম্বক প্রাবল্য কত বাহির কর।

[0·427 ওরষ্টেড]।

Explain—

(i) The declination at Calcutta is 1°17′ West ;

(ii) The dip at Calcutta is 30° ;

(iii) The Earth's horizontal intensity at Calcutta is 0·37 Oersted.

Determine the magnitude of the resultant intensity of Earth's magnetic field at Calcutta. (C. U. 1928, 31, 45)

9. একটি ইস্পাতের দণ্ডকে চুম্বকিত করা হইলে উহার (i) ওজন ও (ii) ভার-কেন্দ্রের কোন পরিবর্তন হইবে কি ? উহাকে যদি উহার ভার-কেন্দ্রে মুক্ত অবস্থায় ঝুলাইয়া দেওয়া যায় উহা কি অনুভূমিক অবস্থায় থাকিবে ? ব্যাখ্যা কর।

What effect is produced on (i) the weight and (ii) centre of gravity of a rod of steel when it is magnetised ? Will the magnet rest horizontally when it is supported at its centre of gravity ? Explain. (C. U. 1951)

10. পৃথিবীর অনুভূমিক প্রাবল্য কাহাকে বলে ? কোন স্থানে পৃথিবীর চৌম্বক বলক্ষেত্রের পরিমাপ করিতে গেলে কি কি পরীক্ষা প্রয়োজন ?

What is meant by Earth's Horizontal Intensity ? What observations are necessary to determine the total intensity of Earth's magnetic field at any place ? (C. U. 1947)

11. একটি চুম্বককে সম্পূর্ণ মুক্ত ভাবে ঝুলানো রহিয়াছে। ইহাকে পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে লইয়া গেলে ইহার কিরূপ বৈলক্ষণ্য দেখা যাইবে ?

A magnet is freely suspended ; how will it behave if it is taken at different places on the earth's surface ?

12. একটি নৌ-কম্পাসের গঠন ও কার্য-নীতি বর্ণনা কর।

Describe the construction and action of a mariner's compass. (C. U. 1945)

স্থির বিদ্যুৎ

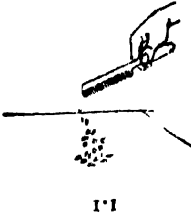
প্রথম পরিচ্ছেদ

বিদ্যুৎ-আধান

(Electrical Charges)

1.1. ঘর্ষণে বিদ্যুতের উৎপত্তি (Electrification by friction) :

পরীক্ষা : কতকগুলি ছোট ছোট কাগজের টুকরা টেবিলের উপরে রাখ। শুক্‌না চিরুণী দিয়া ভাল করিয়া চুল আঁচড়াও। চুল যেন শুক্‌না থাকে। এইবারে চিরুণীটিকে কাগজের টুকরাগুলি হইতে সামান্য উপরে ধর। দেখিবে কতকগুলি কাগজের টুকরা লাফাইয়া শূন্যে উঠিয়া চিরুণী স্পর্শ করিতেছে, এবং সঙ্গে সঙ্গে সজোরে নীচে পড়িয়া যাইতেছে।



1·1

সম্ভবতঃ 650 খ্রীষ্ট-পূর্বাব্দে গ্রীক পণ্ডিত থেলেস্ (Thales) এই তথ্য আবিষ্কার করেন। তিনি অ্যামবারের (amber) একটি দণ্ডকে পশুলোম (fur) দ্বারা ঘষিয়া পরীক্ষা করিয়া দেখেন যে অ্যাম্বারের দণ্ডটি হাল্‌কা বস্তুকে আকর্ষণ করিবার ক্ষমতা অর্জন করে।

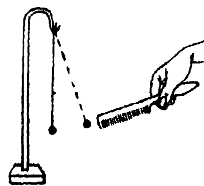
অ্যাম্বারকে গ্রীক ভাষায় ইলেকট্রন (electron) বলে ; সুতরাং বলা হইল, পশুচর্মের ঘর্ষণে অ্যাম্বার electrified (বিদ্যুৎ-গ্রস্ত) হইয়া আকর্ষণী শক্তি লাভ করে।

কাচকে রৌদ্রে উত্তপ্ত ও জলীয় বাষ্পশূন্য করিয়া শুষ্ক রেশমী কাপড়ের টুকরা দ্বারা ঘষিলে কাচও বিদ্যুৎ-গ্রস্ত হয় ও কাগজের টুকরা আকর্ষণ করিতে পারে। এমনকি রেশমী কাপড়ের টুকরাটিও আকর্ষণী শক্তি লাভ করে। বলা হয়, এই পরীক্ষায় চিরুণী, অ্যাম্বার, কাচ, পশুলোম, রেশমী প্রভৃতি বস্তুতে কিছুটা বিদ্যুৎ বা তড়িৎ (electricity) কিংবা আধান (charge) আসিয়া জমা হয়। এই বিদ্যুৎকে স্থির বিদ্যুৎ (static electricity) বলা হয়। কোন বস্তুতে তড়িৎ সঞ্চার করাকে তড়িৎ-আহিত করা বলে।

এই পরীক্ষা করিবার সময়ে ব্যবহৃত বস্তুকে রৌদ্রে শুকাইয়া লইতে হয় ;

কারণ জলীয় বাষ্পের উপস্থিতিতে পরীক্ষা সফল হয় না। ঘর্ষণের সময় আমরা যে শক্তি ব্যয় করি তাহা আহিত বস্তু দুটির মধ্যে থাকে ও সেই শক্তির জন্যই আহিত বস্তু অন্য বস্তুকে আকর্ষণ করিয়া কাজ করিতে পারে।

1.2. পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণ (Pith-ball Electroscope) : কাগজের টুকরা দিয়া তড়িতের শক্তি পরীক্ষা করা অপেক্ষা, আর একটি যন্ত্রে এই পরীক্ষা আরও ভালভাবে করা যায়। এই যন্ত্রে একটি শোলার (pith) ক্ষুদ্র গোলক রেশমী সুতায় বাঁধিয়া একটি কাচ বা ইবনাইটের ষ্ট্যাণ্ড হইতে ঝুলাইয়া রাখা হয়।



1·2

তড়িৎ-বীক্ষণ শব্দটির অর্থ তড়িতের অস্তিত্ব পরীক্ষা করিবার যন্ত্র। কাগজের টুকরা অপেক্ষা পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণ অনেক সূক্ষ্ম। কাগজের টুকরাগুলিকে তড়িৎ মাধ্যাকর্ষণের বিরুদ্ধে টানিয়া উঠাইতে বাধ্য হয়, সুতরাং তড়িতের আকর্ষণী শক্তির মান যথেষ্ট বেশী হইতে হয়। কিন্তু পিথ-বলের কাছে তড়িৎ-আহিত বস্তু লইয়া গেলে তাহার আকর্ষণে পিথ-বল পাশে সরিয়া যায়, শূন্যে ওঠে না, সেজন্য সামান্য পরিমাণ তড়িৎও পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণে ধরা পড়ে।

1.3. ধনাত্মক ও ঋণাত্মক, দুই প্রকারের বিদ্যুৎ আছে (There are two kinds of electricity—positive & negative) :

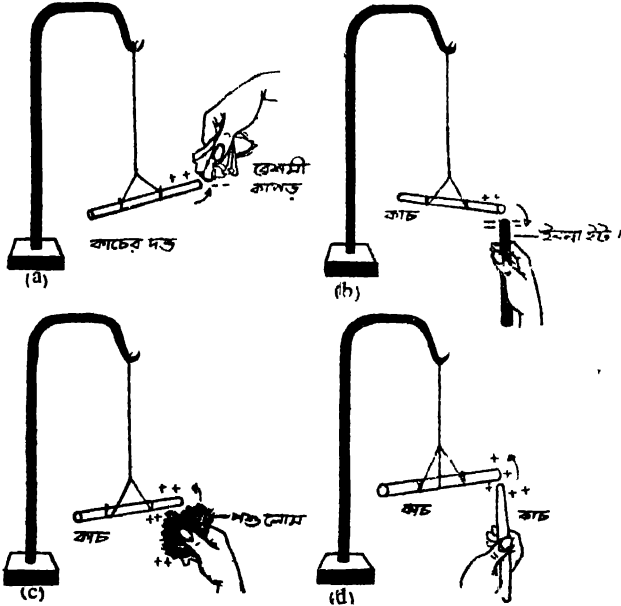
পরীক্ষা : একটি কাচের দণ্ডকে রৌদ্রে শুকাইয়া উহার এক প্রান্তে একটি রৌদ্রতপ্ত রেশমের কাপড় দিয়া ঘর্ষণ কর। অতঃপর দণ্ডটিকে একটি ষ্ট্যাণ্ড হইতে রেশমী সুতার সাহায্যে অনুভূমিক করিয়া ঝুলাইয়া দাও।

ব্যবহৃত রেশমী কাপড়কে ধরিয়া কাচের ঘর্ষিত প্রান্তের কাছে লইয়া যাও। দেখিবে কাচটি ঘুরিয়া কাপড়ের কাছে চলিয়া আসিতেছে, অর্থাৎ রেশমী কাপড় ও কাচ পরস্পরকে আকর্ষণ করিতেছে [চিত্র 1·3 (a)]।

একটি ইবনাইটের দণ্ডকে অনুরূপভাবে একটি পশু-লোমের বা একটি ফ্লানেলের টুকরা দিয়া ঘর্ষণ কর। এইবার ইবনাইটের দণ্ডকে ঝুলানো কাচের দণ্ডটির কাছে লইয়া গেলে পূর্বের ন্যায় আকর্ষণ দেখিতে পাইবে [চিত্র 1·3 (b)]।

পশুলোমের টুকরাটিকে কাচের দণ্ডের কাছে আনিলে কাচের দণ্ডের বিকর্ষণ হইবে চিত্র 1·3 (c)]।

আর একটি কাচের দণ্ডকে অন্য এক টুকরা রেশমী কাপড় দিয়া ঘর্ষণ কর। এইবার কাচের দণ্ডটি ঝুলন্ত দণ্ডের কাছে লইয়া গেলে দেখিবে এইবার আর আকর্ষণ নাই, ঝুলন্ত দণ্ডটি বিকর্ষিত হইয়া দূরে সরিয়া যাইতেছে [চিত্র 1·3 (d)]।



1·3

(a) ও (b) পরীক্ষার ক্ষেত্রে যথাক্রমে রেশম ও ইবনাইটের দণ্ড কাচের দণ্ডকে আকর্ষণ করিতেছে। কিন্তু (c) ও (d) পরীক্ষায় পশুলোম ও কাচের দণ্ড ঝুলন্ত কাচের দণ্ডকে বিকর্ষণ করিল, সুতরাং রেশম বা ইবনাইটের দণ্ডে যে প্রকারের আধান ছিল, পশুলোম বা কাচের দণ্ডে নিশ্চিত তাহা হইতে ভিন্ন আধান ছিল।

যে কোন বস্তুতেই তড়িৎ আহিত করা হউক না কেন, উহা উপরের পরীক্ষায় হয় ইবনাইট নাহয় কাচের দণ্ডে আহিত তড়িতের ন্যায় প্রকৃতি-বিশিষ্ট হইবে। সুতরাং দুই প্রকারের আধান সৃষ্টি হইতে পারে—ইহাদের নাম দেওয়া হইয়াছে পজিটিভ বা ধনাত্মক এবং নেগেটিভ বা ঋণাত্মক তড়িৎ বা আধান। এইরূপ নামকরণের কোন সবিশেষ কারণ নাই, তবু এই নামই প্রচলিত হইয়াছে।

উপরের পরীক্ষায় পশুলোম ও কাচের দণ্ডে ধনাত্মক তড়িৎ ও রেশম বা ইবনাইটে ঋণাত্মক তড়িৎ আহিত হইয়াছে বলা হয়।

1.4. সমপ্রকৃতির আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ করে, বিষম প্রকৃতির আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে (Like charges repel, unlike charges attract)—ড্যু ফে'র সূত্র (Du Fay's Law):

কাচের দণ্ডে রেশম ঘর্ষণ করিয়া ঝুলাইয়া রাখিয়া তাহার নিকটে পশুলোম দ্বারা ঘর্ষিত ইবনাইটের দণ্ড আনিলে উভয়ের মধ্যে আকর্ষণ হয় তাহা উপরের পরীক্ষায় দেখিয়াছি। কাচের দণ্ডে ধনাত্মক ও ইবনাইটের দণ্ডে ঋণাত্মক তড়িৎ আহিত হয়, সুতরাং ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

আর একটি কাচের দণ্ডকে রেশমে ঘর্ষণ করিয়া পূর্বের ঝুলানো কাচের দণ্ডের কাছে আনিলে উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণ হয়। উভয় কাচের দণ্ডেই ধনাত্মক তড়িৎ আহিত হয়, সুতরাং একই প্রকারের তড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

তাহা হইলে, সমপ্রকৃতির তড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে ও বিষম প্রকৃতির তড়িৎ পরস্পরকে আকর্ষণ করে। এই তথ্য প্রথম ফরাসী বিজ্ঞানী **ড্যু ফে** আবিষ্কার করেন, সুতরাং ইহাকে **ড্যু ফে'র** সূত্র বলা হয়।

তোমাদের হয়তো মনে আছে, চুম্বকতত্ত্বেও **ড্যু ফে'র** একটি অনুরূপ সূত্র প্রচলিত আছে—সমপ্রকৃতির মেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করে, আর বিষম প্রকৃতির মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

§নং 1.1. এর পরীক্ষায় দেখিয়াছ চিরুণী চুলে ঘষিয়া কাগজের টুকরার কাছে আনিলে উহা কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে, কিন্তু কাগজের টুকরা চিরুণীতে লাগিবার পরই অত্যন্ত দ্রুত নীচে পড়িয়া যায়। ইহার কারণ হইল, কাগজের টুকরা চিরুণীতে লাগিয়া উহা হইতে কিছুটা তড়িৎ আহরণ করে, এবং ফলে উহাতে ও চিরুণীর মধ্যে একই প্রকৃতির তড়িৎ সঞ্চারের ফলে বিকর্ষণ হয়।

1.5. ঘর্ষণে উভয় প্রকারের তড়িৎ উৎপন্ন হয় (Both kinds of electricity are generated by friction):

§1.3.—এর পরীক্ষার (c) অংশে ইবনাইটের দণ্ডের দ্বারা ঝুলন্ত কাচের দণ্ড আকৃষ্ট হইল। ইবনাইটের দণ্ডকে যে পশুলোম দ্বারা ঘর্ষণ করা

হইয়াছিল তাহাকে কাচের দণ্ডের কাছে আনা হইলে কাচের দণ্ড বিকর্ষিত হইবে।

সুতরাং ঘর্ষণের ফলে ইবনাইটের দণ্ড ও ঘর্ষণকারী পশুলোম উভয়ের মধ্যেই তড়িৎ আহিত হইল বুঝিতে পারা যায়, এবং উহারা বিপরীত প্রকৃতির হইবে।

1.6. স্থির-বৈদ্যুতিক শ্রেণী (Electrostatic Series):

কাচকে রেশম দিয়া ঘষিলে কাচে ধনাত্মক ও রেশমে ঋণাত্মক তড়িতের সঞ্চার হয়, ইবনাইটকে পশুলোম দ্বারা ঘষিলে ইবনাইটে ঋণাত্মক তড়িৎ সঞ্চার হয়। আবার কাচকে যদি পশুলোম দিয়া ঘষা হয় তখন কাচে ঋণাত্মক তড়িৎ সঞ্চার হয়।

অর্থাৎ বিভিন্ন পদার্থকে বিভিন্ন বস্তু দিয়া ঘর্ষণ করিলে ভিন্ন ভিন্ন প্রকৃতির বিদ্যুৎ সঞ্চারিত হইবে।

স্থির বিদ্যুতের বিভিন্ন পরীক্ষায় ব্যবহৃত বস্তুগুলিকে একটি তালিকাভুক্ত করা যাইতে পারে। এই তালিকায় বস্তুগুলিকে পরপর এমনভাবে সাজানো যায় যে দুটি বস্তুর পরস্পর ঘর্ষণে তালিকায় প্রথম উল্লিখিত বস্তুটিতে ধনাত্মক ও পরবর্তী বস্তুটিতে ঋণাত্মক তড়িতের সঞ্চার হইবে।

পশুলোম	রেশম	গন্ধক
কাচ	কাঠ	ইবনাইট
পশম	অ্যাম্বার	রবার
কার্পাস বস্ত্র	ধাতু	গাটাপার্চা

উদাহরণঃ কাচকে পশুলোম দ্বারা ঘষিলে কি হইবে?—শ্রেণীবদ্ধ তালিকায় পশুলোমের স্থান আগে ও কাচের স্থান পরে। সুতরাং কাচকে পশুলোম দ্বারা ঘষিলে পশুলোম ধনাত্মক ও কাচ ঋণাত্মক হইবে।

ইবনাইটকে পশম দ্বারা ঘষিলে কি হইবে?—তোমরা নিজেরাই বল।

1.7. বিকর্ষণই তড়িতের অস্তিত্বের শ্রেয় প্রমাণ (Repulsion is a surer test of electricity):

একটি ধনাত্মক তড়িৎ-আহিত কাচদণ্ডকে একটি অনাহিত পিথ-বল তড়িৎ

বীক্ষণের কিংবা ঋণাত্মক তড়িতে আহিত পিথ-বলের কাছে আনিলে উভয় ক্ষেত্রেই আকর্ষণ হয়। অর্থাৎ পিথ-বলটি উদাসীনই হউক আর ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হউক, ধনাত্মক তড়িৎ-আহিত কাচ উহাকে আকর্ষণ করিবে।

সুতরাং একটি তড়িৎ-আহিত বস্তু দ্বিতীয় কোন বস্তুকে আকর্ষণ করিলে আমরা সঠিক বলিতে পারিব না দ্বিতীয় বস্তুটি উদাসীন না তড়িৎ-আহিত। কিন্তু পিথ-বলটি যদি ধনাত্মক তড়িতে আহিত হইত তাহা হইলে কাচদণ্ড উহাকে বিকর্ষণ করিত।

অতএব, দুইটি বস্তু পরস্পরকে আকর্ষণ করিলে উভয়েই তড়িৎ-আহিত কিনা সন্দেহ থাকিয়া যায়, কিন্তু উহারা পরস্পর বিকর্ষণ করিলে সুনিশ্চিত ভাবে বলা যায় যে উভয়েই তড়িৎ-আহিত।

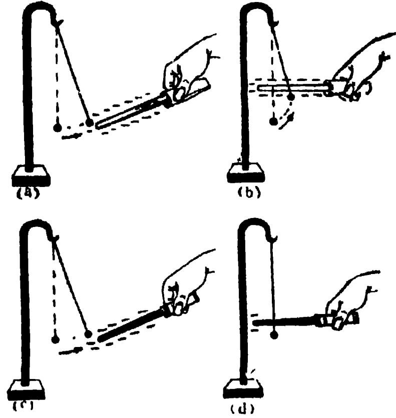
1.8. পরিবাহী (Conductors) ও অপরিবাহী (Insulators) :

পিতল বা লোহা ইত্যাদির ধাতব দণ্ডকে রেশম বা পশুলোম দ্বারা ঘষিলেও উহাতে কোন তড়িতের অস্তিত্ব লক্ষ্য করা যায় না। পূর্বে ভাবা হইত যে ধাতু হইল 'অবৈদ্যুৎ' (non-electric) পদার্থ, ইহাদের ঘর্ষণের সাহায্যে তড়িৎ-আহিত করা যায় না। কাচ, কাঠ বা যে সমস্ত বস্তুকে ঘর্ষণের দ্বারা তড়িৎ-আহিত করা যায়, তাহাদের বলা হইত 'বৈদ্যুৎ' (electric) পদার্থ। কিছুদিন পরে দেখা গেল যে কোন ধাতব দণ্ডে কাচের হাতল লাগাইয়া, এবং সেই হাতল ধরিয়া দণ্ডটিকে শুষ্ক রেশম দ্বারা ঘষিলে উহা অত্যন্ত সহজে তড়িৎ-আহিত হয়। অতএব পূর্বের ধারণা ভ্রান্ত বলিয়া প্রমাণিত হইল। দেখা গেল যে অবৈদ্যুৎ পদার্থকেও ঘর্ষণের সাহায্যে তড়িৎ-আহিত করা যায়।

পরীক্ষা: একটি কাচের হাতল-যুক্ত দীর্ঘ পিতলের দণ্ডকে হাতলের সাহায্যে ধরিয়া উহার অগ্রভাগে শুষ্ক এক টুকরা রেশমের কাপড় দ্বারা ঘর্ষণ কর। (কাচের-হাতল যুক্ত দণ্ড না পাওয়া গেলে সাধারণ পিতলের দণ্ডের এক প্রান্তে এক টুকরা ফ্লানেল জড়াইয়া ফ্লানেলের সাহায্যে উহাকে ধরিলেও চলে)। দেখিও যেন ধাতব অংশে হাত না ঠেকে।

এখন কাচের হাতলের সাহায্যে দণ্ডটিকে ধরিয়া একটি পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে ধর। দেখিবে পিথ-বল আকৃষ্ট হইয়া দণ্ডের কাছে সরিয়া গিয়াছে। [চিত্র নং 1·4 (a)]।

হাতল ধরিয়া দণ্ডটিকে পিথ-বলের কাছে এমন ভাবে ধর যেন পিতলের দণ্ডের গোড়ার দিক পিথ-বলের কাছে থাকে। পিথ-বল এবারও আকৃষ্ট হইবে [চিত্র নং 1·4 (b)]।



1·4

একটি ইবনাইটের দণ্ডকে পশুলোমের সাহায্যে এক প্রান্তে ঘষিয়া তড়িৎ আহিত কর। উপরের পরীক্ষা দুটি করিলে দেখিবে শুধু অগ্রভাগেই পিথ-বলের উপরে আকর্ষণ হইতেছে, গোড়ার দিকে নয় [চিত্র নং 1·4 (c) ও 1·4 (d)]।

তাহা হইলে প্রমাণ হয় যে পিতলের দণ্ডের কোন এক বিন্দুতে তড়িৎ-আহিত করিলে তাহা দণ্ডের সর্বত্র ছড়াইয়া পড়ে, কিন্তু ইবনাইট দণ্ডের যে বিন্দুতে তড়িৎ আহিত করা হয় তড়িৎ শুধু সেই বিন্দুতেই সঞ্চিত থাকে, সর্বত্র ছড়াইয়া পড়ে না।

পরীক্ষা : উপরের তড়িৎ-আহিত পিতলের দণ্ডের যে কোন বিন্দুতে একবার আঙ্গুল স্পর্শ কর। এখন দণ্ডটিকে পিথ-বলের কাছে ধর, দেখিবে আর পিথ-বলের উপর আকর্ষণ নাই। সুতরাং দণ্ডের সমস্ত তাড়ৎ বাহির হইয়া গিয়াছে। তড়িৎ-আহিত ইবনাইটের দণ্ডকে একবার আঙ্গুল ছোঁয়াইয়া পিথ-বলকে আকর্ষণের পরীক্ষা কর, দেখিবে, আকর্ষণ রহিয়াছে, অর্থাৎ ইবনাইটের দণ্ডের তড়িৎ বাহির হইয়া যায় নাই।

তাহা হইলে, পিতলের দণ্ডের ভিতর দিয়া তড়িৎ নিশ্চয় এক স্থান হইতে অন্য স্থানে যাইতে পারে ; কিন্তু ইবনাইটের দণ্ডের ভিতর দিয়া উহা যাইতে পারে না।

সংজ্ঞা : পরিবাহী—যে সমস্ত বস্তুর ভিতর দিয়া তড়িৎ চলাচল করিতে পারে তাহাদের বলা হয় পরিবাহী (conductors)।

অপরিবাহী—যে সমস্ত বস্তুর ভিতর দিয়া তড়িৎ চলাচল করিতে পারে না তাহাদের বলা হয় অপরিবাহী (insulators)।

পিতল পরিবাহী বস্তু, এবং ইবনাইট অপরিবাহী বস্তু। পূর্বে যে সমস্ত

বস্তুকে অবৈদ্যুৎ পদার্থ বলা হইত তাহারা প্রকৃতপক্ষে পরিবাহী এবং বৈদ্যুৎ পদার্থগুলি আসলে অপরিবাহী ; মাটি পরিবাহী।

বিশুদ্ধ জল অপরিবাহী, কিন্তু সাধারণতঃ যে জল ব্যবহার করা হয় তাহাতে লবণ মিশ্রিত থাকে বলিয়া তাহা পরিবাহী। মনুষ্যদেহ পরিবাহী, বিশেষতঃ ভিজা অবস্থায় অত্যন্ত পরিবাহী, সেজন্যই বিদ্যুৎবাহী তারে হাত দিলে দেহের ভিতর দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় ও ভূমিতে যায় বলিয়া বৈদ্যুতিক শক্ (Electric shock) লাগে।

রবার অপরিবাহী, সে জন্য ইলেকট্রিক মিস্ত্রিরা অনেক সময় রবারের দস্তানা ব্যবহার করেন। কাঠের, বিশেষতঃ শুষ্ক কাঠের পরিবহন ক্ষমতা কম বলিয়া বাড়ীতে বিদ্যুতের লাইন সারাই করিবার জন্য কাঠের মই বা টুল ব্যবহার করা হয়।

শুষ্ক বায়ু অপরিবাহী, কিন্তু বাতাসে জলীয় বাষ্প থাকিলে তাহা পরিবাহী হইয়া উঠে। সেজন্য ঘর্ষণ দ্বারা তড়িৎ-আহিত করিতে গেলে দেখা যায় বর্ষাকালে প্রায়ই পরীক্ষা বিফল হয়।

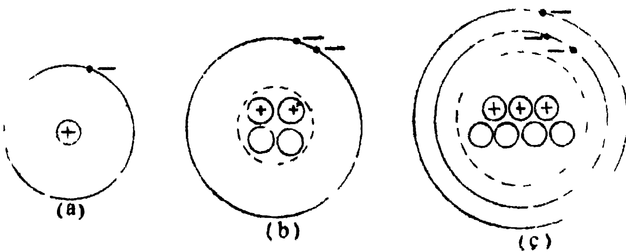
§ 1.5.—এ যে তালিকা দেওয়া আছে, তাহার মধ্যে ধাতুগুলি সকলেই পরিবাহী, আর অন্য পদার্থগুলি অপরিবাহী। অবশ্য বিভিন্ন ধাতুর পরিবহনের ক্ষমতার অল্পবিস্তর পার্থক্য থাকে, আর অপরিবাহী পদার্থের অপরিবাহিতারও বিভিন্নতা আছে।

1.9. **তড়িৎ কি ?** : তড়িৎ বস্তুটি কি, এই প্রশ্ন দার্শনিক থেলেসের অ্যাম্বার ও রেশমের ঘর্ষণে তড়িৎ আহিতকরণের পরীক্ষার মুহূর্ত হইতে বিজ্ঞানীদের মনে সাড়া জাগাইয়াছে। কিন্তু তড়িতের প্রকৃতি সম্বন্ধে কোন সন্তোষজনক ব্যাখ্যা বহুদিন পর্যন্ত পাওয়া যায় নাই। 1774 খ্রীষ্টাব্দে প্রথম বৈজ্ঞানিক ক্যারাডে ঘর্ষণে তড়িৎ আধানের একটি বৈজ্ঞানিক ব্যাখ্যা দেন। তাঁহার তত্ত্বকে বলে একক সরিল তত্ত্ব (One-fluid theory)। এই মতে বিদ্যুৎ এক প্রকার ভর-বিহীন সরিল (fluid), ইহা সমস্ত পদার্থেই আছে। একটি বস্তুকে যখন আর একটি বস্তু দিয়া ঘর্ষণ করা যায় তখন একটি বস্তু হইতে এই সরিল দ্বিতীয় বস্তুটির মধ্যে ঢুকিয়া যায়। আমরা বলিব দ্বিতীয় বস্তুটি ধনাত্মক বিদ্যুৎ লাভ করে, আর প্রথম বস্তুটি ধনাত্মক বিদ্যুৎ হারায় অর্থাৎ ঋণাত্মক বিদ্যুৎ লাভ করে। মোটামুটিভাবে ব্যাখ্যা একটি দাঁড়াইল বটে, কিন্তু ইহাকে টিকানো গেল না। পরে নূতন নূতন পরীক্ষাক্রমে যখন দেখা গেল যে একটি বস্তুকে যত

খুশী ধনাত্মক বা ঋণাত্মক তড়িৎ দেওয়া যায়, তখনই বিজ্ঞানীদের মনে প্রশ্ন উঠিল, এত সরিল কোথা হইতে আসিবে? তাহা হইলে কোন বস্তুর তড়িতের ভাণ্ডার কি অফুরন্ত? তাহা ছাড়া কাচকে রেশম দিয়া ঘষিলে উহার মধ্যে সরিল ঢুকিবে, আর পশু লোম দিয়া ঘষিলে সরিল বাহির হইয়া যাইবে, ইহাই বা কেমন কথা?

দ্যু ফে আর একটি তথ্য প্রচার করেন। তাহার তত্ত্বের নাম দ্বি-সরিল তত্ত্ব (Two-fluid theory)। তিনি বলিলেন, তড়িৎ আসলে দুই প্রকারের সরিল, উহাদের একটি ধনাত্মক ও অন্যটি ঋণাত্মক। এই দুই প্রকারের সরিলই ভরবিহীন ও সর্বব্যাপী। যে কোন বস্তুর মধ্যে উভয় প্রকারের সরিলই আছে। দুইটি বস্তুকে ঘষিলে একটির মধ্যে ধনাত্মক সরিল ও অন্যটির মধ্যে ঋণাত্মক সরিল ঢুকিয়া প্রতিটি বস্তুর মধ্যে কোনও এক প্রকারের সরিলের বাড়তি হইয়া যায়, তখন উহা সেই প্রকৃতির তড়িৎ লাভ করে। এই ব্যাখ্যাও কিন্তু টিকিতে পারিল না, অফুরন্ত ভাণ্ডারের পুরাতন প্রশ্নেই মারা পড়িল।

ইলেকট্রন তত্ত্ব (Electron theory): আধুনিক যে তত্ত্বের সাহায্যে তড়িৎ-সম্বন্ধীয় বিভিন্ন তথ্যের ব্যাখ্যা করা হয় তাহাকে ইলেকট্রন তত্ত্ব বলে। আরও মজা এই যে, এই তত্ত্বের সহিত ফ্যারাডের একক সরিল তত্ত্ব বা দ্যু ফে'র দ্বি-সরিল তত্ত্ব উভয়েরই কিছুটা মিল রহিয়াছে। এই তত্ত্ব অনুসারে বিদ্যুৎ মূলতঃ পরমাণুর গঠনের সহিত যুক্ত।



1·5

(a) হাইড্রোজেন, (b) হিলিয়াম ও (c) লিথিয়াম পরমাণুর গঠন

পৃথিবীর যে কোন বস্তুই অজস্র পরমাণুর সমষ্টিতে প্রস্তুত। এই পরমাণুগুলি অতি ক্ষুদ্র, এত ক্ষুদ্র যে ইহাদের কথা ভাবাও দুরূহ ব্যাপার। একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ব্যাস মাত্র $1{\cdot}06\times10^{-8}$ সেমি., একটি সোডিয়াম পরমাণুর ব্যাস $3{\cdot}8\times10^{-8}$ সেমি.।

একটি হাইড্রোজেন পরমাণুকে যদি ওজন করা যাইত, উহা মাত্র $1 \cdot 66 \times 10^{-24}$ গ্রাম হইত। অর্থাৎ 1 গ্রাম হাইড্রোজেন গ্যাসে প্রায় 6×10^{23} টি হাইড্রোজেন পরমাণু থাকে। অবশ্য তোমরা নিশ্চয় জান যে হাইড্রোজেন সর্বাপেক্ষা হাল্কা মৌল। কিন্তু এমন কি অতিশয় গুরুভার যে মৌল ইউরেনিয়ামের একটি পরমাণু হাইড্রোজেন পরমাণু অপেক্ষা 238 গুণ ভারী, উহার ভরও 4×10^{-24} গ্রাম মাত্র।

বিভিন্ন পরমাণুর রাসায়নিক গুণ বিভিন্ন, ইহা তোমরা রসায়নে পড়িয়াছ। কিন্তু এক জায়গায় সমস্ত পরমাণুর মিল রহিয়াছে। প্রতিটি পরমাণুই একটি সৌরজগতের মত। সৌরজগতে সূর্যকে কেন্দ্র করিয়া বিভিন্ন কক্ষপথে কতকগুলি গ্রহ ঘুরিতেছে, এবং সমস্ত গ্রহগুলির মোট ভর সূর্যের ভরের তুলনায় অনেক কম। তাহা হইলে আমরা বলিতে পারি যে সৌরজগতে মোট ভরের অধিকাংশই কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত। ঠিক তেমনিই, যে কোন পরমাণুতে প্রায় সমস্ত ভরটাই কেন্দ্রে অবস্থিত এবং অতিশয় ক্ষুদ্র কতকগুলি বস্তুকণা উহার চারিপাশে ঘুরিতেছে। এই ঘূর্ণায়মান কণাগুলিকে বলে ইলেক্‌ট্রন (Electron)। এই কণাগুলির ভর হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের মাত্র $\frac{1}{1840}$ ভাগ এবং ব্যাস মাত্র 2×10^{-13} সেমি.। ইলেক্‌ট্রনের ভর বা আকার ক্ষুদ্র হইলেও কিন্তু ইহারা মূল্যহীন নহে। প্রতিটি ইলেক্‌ট্রনে কিছুটা করিয়া ঋণাত্মক তড়িৎ থাকে, এবং এই ঋণাত্মক তড়িৎই পরমাণুর প্রকৃতি স্থির করে বলা যায়। পরমাণুর ভর যে কেন্দ্রে সঞ্চিত, সেই কেন্দ্রীয় ভরকে কেন্দ্রীণ (Nucleus) বলা হয়। স্বভাবতঃই বলা যাইতে পারে যে পরমাণুর সমস্ত ভরটুকুই কেন্দ্রীণে অবস্থিত কারণ কেন্দ্রীণের বাহিরে যতগুলি ইলেক্‌ট্রনই থাকুক না কেন, তাহাদের মোট ভর অতি সামান্য। কেন্দ্রীণের ব্যাস প্রায় 10^{-13} হইতে 10^{-12} সেমি. হয়। সুতরাং একটি পরমাণুর মোট আয়তন প্রায় 10^{-24} সিসি. কিন্তু উহার মধ্যে কেন্দ্রীণ ও ইলেক্‌ট্রন মিলিয়া মাত্র 10^{-36} সিসি. স্থান দখল করে, সুতরাং পরমাণুর অধিকাংশই ফাঁপা।

কোন পরমাণুর কেন্দ্রীণকে যদি ভাঙা যায়, তবে উহার মধ্যে দুই প্রকারের বস্তুকণা পাওয়া যায়, উহাদের একটিকে বলে প্রোটন (Proton) ও অন্যটিকে বলে নিউট্রন (Neutron)। প্রোটন ও নিউট্রনের ভর সমান, কিন্তু উহাদের একটি মূলগত পার্থক্য রহিয়াছে। প্রোটনে খানিকটা ধনাত্মক তড়িৎ থাকে, এই তড়িতের পরিমাণ ইলেক্‌ট্রনের ঋণাত্মক তড়িতের সমান ; আর নিউট্রন সম্পূর্ণ উদাসীন।

প্রোটন ও নিউট্রনের মোট ভরকেই পরমাণু-ভর বলা যায়। প্রোটন বা নিউট্রনের ভর আবার হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের সমান।

যে কোন বস্তু স্বাভাবিক ভাবে উদাসীন, অর্থাৎ উহাতে কোন তড়িৎ থাকে না। ইহার কারণ এই যে বস্তুটির মধ্যে যে সমস্ত পরমাণু রহিয়াছে তাহাদের প্রতিটি উদাসীন, অর্থাৎ প্রতিটিতে মোট ধনাত্মক তড়িৎ ও মোট ঋণাত্মক তড়িৎ সমান। যেহেতু প্রোটনগুলি পরমাণুতে ধনাত্মক তড়িৎ সঞ্চার করে ও ইলেক্‌ট্রন-গুলি ঋণাত্মক তড়িৎ সঞ্চার করে, অতএব যে কোন পরমাণুতে কেন্দ্রীণে অবস্থিত প্রোটনের সংখ্যা ও বাহিরে ঘূর্ণায়মান ইলেক্‌ট্রনের সংখ্যা সমান।

পারমাণবিক ভার (Atomic weight)—পরমাণুর ভর এত কম যে উহাকে গ্রামে নির্দেশ করা অসুবিধাজনক। তাহা ছাড়া দেখা গিয়াছে যে বিভিন্ন পরমাণুর ভর হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের পূর্ণ গুণিতক (Integral multiple) হইয়া থাকে। সুতরাং হাইড্রোজেন পরমাণু-ভরকে 1 ধরিয়া বিভিন্ন পরমাণুর ভরকে একটি পূর্ণ সংখ্যায় প্রকাশ করা যায়। এই সংখ্যাকে ঐ বস্তুর পরমাণু-ভার বলে। উদাহরণ স্বরূপে বলা যায়, হাইড্রোজেনের পরমাণুভার 1, হিলিয়ামের পরমাণুভার 4, অক্সিজেনের 16, সোডিয়ামের 23, প্রভৃতি। এই একক অনুসারে প্রোটন ও নিউটনের ভার সংখ্যা 1, ইলেক্‌ট্রেনের $\frac{1}{1840}$।

পরমাণুর গঠন (Structure of Atom) : কোন পরমাণুর কেন্দ্রীণে যতগুলি প্রোটন ও নিউট্রন রহিয়াছে, তাহাদের মোট ভরকেই পরমাণুর ভর বলা চলে। এই কণাগুলির মধ্যে প্রোটন কণাগুলি ধনাত্মক তড়িৎ-আহিত, ও নিউট্রনগুলি উদাসীন। কেন্দ্রীণের বাহিরে বিভিন্ন কক্ষপথে কতকগুলি ইলেক্‌ট্রন ঘুরিতেছে, ইহাদের ভর শূন্য (অতি অল্প), এবং ইহারা ঋণাত্মক তড়িৎ বহন করে। ইলেক্‌ট্রন ও প্রোটনের তড়িতের পরিমাণ সমান ও স্বভাব বিপরীত।

এইবারে একটু বিস্তৃত আলোচনায় আসা যাক্। সর্বাপেক্ষা সরল পারমাণবিক গঠন কিরূপ হইতে পারে ? যেখানে ঘূর্ণায়মান ইলেক্‌ট্রনের সংখ্যা মাত্র একটি। এইটিই হাইড্রোজেন পরমাণু; একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর কেন্দ্রীণে একটি প্রোটন ও বাহিরে একটি ইলেক্‌ট্রন আছে। একটি প্রোটন হইলেই হাইড্রোজেনের ভর সম্পূর্ণ হয় (কারণ প্রোটনের ভর হাইড্রোজেন পরমাণুর সমান ধরা হয়), সুতরাং হাইড্রোজেনের কেন্দ্রীণে নিউট্রন নাই (চিত্র 1'5)।

হাইড্রোজেনের পরে যে পরমাণুর কথা ভাবা যায় তাহাতে আমরা আশা

করিতে পারি দুইটি ইলেকট্রন থাকিবে। প্রকৃতই হিলিয়াম পরমাণুতে দুইটি ইলেকট্রন বাহিরের কক্ষপথে ঘোরে। তাহা হইলে হিলিয়ামের কেন্দ্রীণে দুইটি প্রোটন থাকিবে, কারণ স্বাভাবিক অবস্থায় হিলিয়াম পরমাণু উদাসীন। কিন্তু হিলিয়ামের পরমাণুভার 4 ; এই 4-এর মধ্যে প্রোটন দুইটি ভর-সংখ্যা দিল, অতএব হিলিয়ামের কেন্দ্রীণে দুইটি নিউট্রন থাকে। হিলিয়ামের ইলেকট্রন দুটি একই কক্ষপথে ঘোরে।

আমরা তাহা হইলে বাহিরে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের সংখ্যা অনুসারে বিভিন্ন পরমাণুকে চিহ্নিত করিতে পারি। এইভাবে, হাইড্রোজেনের পরমাণু-অংক (Atomic number) 1 ও হিলিয়ামের পরমাণু-অংক 2।

3 নং পরমাণু লিথিয়াম, ইহার ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের সংখ্যা 3 এবং পরমাণুভার 7 ; অতএব ইহার কেন্দ্রীণে 3টি প্রোটন ও 4 টি নিউট্রন আছে।

লিথিয়ামের পরমাণু-গঠনে আর একটি বিশেষত্ব লক্ষ্যণীয়। ইহার তিনটি ইলেকট্রনের মধ্যে দুটি একই কক্ষপথে ঘোরে, কিন্তু তৃতীয়টি নিজের জন্য একটি নূতন কক্ষপথ সৃষ্টি করে।

সোডিয়ামের পরমাণু-অংক •11, এবং পরমাণুভার 23। অতএব ইহার কেন্দ্রীণে 11টি প্রোটন ও 12টি নিউট্রন রহিয়াছে, এবং বাহিরে 11টি ইলেকট্রন ঘুরিতেছে। এই ইলেকট্রনগুলির তিনটি কক্ষপথ, তাহাদের প্রথমটিতে দুইটি, দ্বিতীয়টিতে আটটি ও তৃতীয়টিতে একটি ইলেকট্রন থাকে।

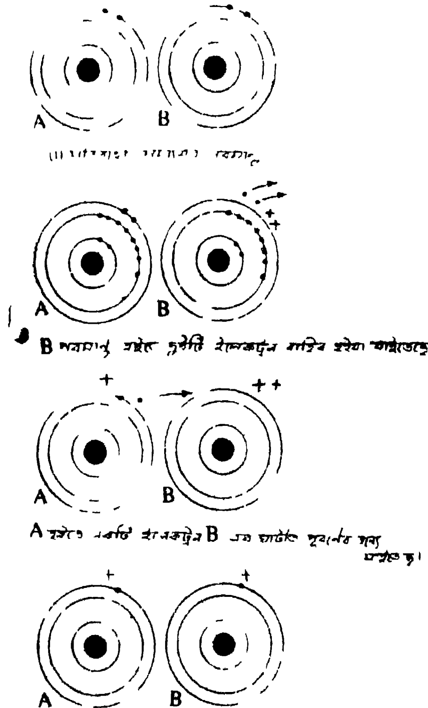
তাহা হইলে দেখ, পরমাণুর ভিতরে যতগুলি ইলেকট্রন, ততগুলি কক্ষপথ নাই। কক্ষপথের সংখ্যা প্রয়োজনের অতিরিক্ত হয় না। বলা যাইতে পারে, একটি কক্ষপথ সংপৃক্ত (saturated) হইলে তবেই নূতন কক্ষপথের সৃষ্টি হইতে পারে। প্রথম কক্ষপথ দুইটি ও দ্বিতীয় কক্ষপথ আটটি ইলেকট্রনে সংপৃক্ত হয়।

ইলেকট্রনগুলি কেন্দ্রীণের চারিপাশে ঘোরে বলিয়া অপকেন্দ্রিক বল (centrifugal force) অনুভব করে, একমাত্র কেন্দ্রীণে অবস্থিত প্রোটনের ধনাত্মক তড়িৎ ও ইলেকট্রনের নিজের ঋণাত্মক তড়িতের আকর্ষণের জন্যই ইলেকট্রনগুলি ছিটকাইয়া বাহিরে পড়ে না ও পরমাণুগুলি ভাঙে না। অতএব, তড়িতের অস্তিত্ব ছাড়া পরমাণুর গঠন কল্পনা করা যায় না।

I.10. ইলেকট্রন তত্ত্ব অনুসারে তড়িৎ উৎপাদনের ব্যাখ্যা (Explanation of electrification according to Electron theory): যে কোন বস্তুর মধ্যে কোটি কোটি পরমাণু রহিয়াছে, অতএব উহার ইলেকট্রনের

ভাণ্ডার বিরাট। এই ভাণ্ডার হইতে কিছু ইলেক্‌ট্রন বাহির করিয়া লও, বস্তুটি ধনাত্মক তড়িতে আহিত হইবে। উহার মধ্যে কিছু ইলেক্‌ট্রন ঢুকাইয়া দাও, উহা ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হইবে।

কোন পরমাণুর ইলেক্‌ট্রনের কক্ষপথগুলির মধ্যে বাহিরের কক্ষপথটিতে যে সমস্ত ইলেক্‌ট্রন থাকে, তাহাদের দূরত্ব কেন্দ্রীণ হইতে অনেক বেশী, অতএব তাহাদের উপরে কেন্দ্রীণের আকর্ষণ কম; তাহা ছাড়া, ভিতরের কক্ষপথের ইলেক্‌ট্রনগুলি তাহাদের ও কেন্দ্রীণের মধ্যে প্রাচীরের ন্যায় কাজ করে, কারণ



I'6

তাহারা আবার বাহিরের ইলেক্‌ট্রনগুলিকে বিকর্ষণ করে। সুতরাং সামান্য চেষ্টাতেই পরমাণুর বাহিরের কক্ষপথের ইলেক্‌ট্রনগুলিকে বিচ্যুত করা যায়।

কাজেই দুইটি বস্তুকে যদি ঘর্ষণ করা যায় তবে একটি হইতে বিচ্যুত কতকগুলি ইলেকট্রন আর একটি বস্তুতে ঢুকিয়া পড়ে। অতএব প্রথম বস্তুতে ধনাত্মক আর দ্বিতীয় বস্তুতে ঋণাত্মক তড়িতের আধান হয়। এইজন্যই ঘর্ষণে বিপরীত প্রকৃতির তড়িৎ উদ্ভূত হয়। দ্বিতীয়তঃ প্রথম বস্তু হইতে বিচ্যুত ইলেকট্রনের সংখ্যা দ্বিতীয়টিতে যুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যার সমান বলিয়া ঘর্ষণে উদ্ভূত দুই বিপরীত প্রকৃতির তড়িতের পরিমাণ সমান।

1.11. ইলেকট্রন তত্ত্ব অনুসারে পরিবাহী ও অপরিবাহী পদার্থের ব্যবহারের ব্যাখ্যা (Explanation of the behaviour of conductors and insulators according to Electron theory) :

যে কোন পদার্থের পরমাণুতে কেন্দ্রীণের বাহিরে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রন রহিয়াছে। বিদ্যুৎ-পরিবাহিতা অনুসারে পদার্থকে মোটামুটি দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যাইতে পারে। পরিবাহী পদার্থের পরমাণুতে বাহিরের কক্ষে যে সমস্ত ইলেকট্রন আছে তাহাদের উপর কেন্দ্রীণের আকর্ষণ এত কম যে সে সমস্ত ইলেকট্রনগুলি প্রায় মুক্ত (free) বলিলেই হয়। ইহারা প্রায়ই নিজ নিজ পরমাণুতে বাঁধা থাকে না, সুবিধা পাইলেই এদিক ওদিক যায়। কোন ইলেকট্রন যদি নিজের পরমাণু ছাড়িয়া অন্যত্র যায় তবু পরমাণু তাহাকে ধরিয়া রাখিতে পারে না। সমস্ত ধাতুই এই শ্রেণীতে পড়ে। মনে কর কোন ধাতব দণ্ডের কোন বিন্দুতে সামান্য কিছু ঋণাত্মক তড়িৎ দেওয়া হইল। এই ঋণাত্মক তড়িৎ নিকটস্থ পরমাণুগুলির ইলেকট্রনদের বিকর্ষণ করে, ফলে পরমাণুর বাহিরের কক্ষপথে ভ্রমণকারী ইলেকট্রনগুলি নিজেদের মুক্ত অবস্থার সুযোগ লইয়া দূরে সরিয়া যায়, ও নিজেদের মধ্যে বিকর্ষণের জন্য সর্বত্র ছড়াইয়া পড়ে।

অপরিবাহী অন্তরকের মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা অতি সামান্য, সেজন্য অপরিবাহী পদার্থে তড়িৎ আহিত করিলে উহা ছড়াইয়া পড়িতে পারে না।

ধাতব দণ্ডে ঋণাত্মক তড়িতের ছড়াইয়া পড়িবার কারণ তো বুঝিতে পারিলে, কিন্তু ধনাত্মক তড়িৎ কেন ছড়াইয়া পড়িবে বলিতে পার কি ? কোন বস্তুতে ধনাত্মক তড়িৎ আহিত করিবার অর্থ উহার কতকগুলি পরমাণু হইতে ইলেকট্রন কাড়িয়া লওয়া। তাহার ফলে কতকগুলি পরমাণুর প্রয়োজনীয় ইলেকট্রনের সংখ্যা কমিয়া যায়। আমরা বলি পরমাণুগুলি আয়নিত (ionised) হইয়াছে। তখন বস্তুটির মধ্যে যদি মুক্ত ইলেকট্রন থাকে তবে তাহারা পরস্পর বিকর্ষণের জন্য এমন ভাবে স্থান পরিবর্তন করে যে একটি উদাসীন পরমাণুর ইলেকট্রন একটি

আয়নিত পরমাণুতে ঢুকিয়া উহাকে উদাসীন করে, কিন্তু নিজের পরমাণুকে আয়নিত করে। এইভাবে ধনাত্মক তড়িৎবাহী পরমাণুগুলি সমস্ত বস্তুটির মধ্যে সমানভাবে ছড়াইয়া পড়ে। বস্তুটির মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রন না থাকিলে, অর্থাৎ বস্তুটি পরিবাহী না হইলে ধনাত্মক তড়িৎবাহী পরমাণুগুলি নিজেদের স্থানেই বদ্ধ থাকে।

যদিও তড়িতের সঞ্চার ইলেকট্রনের চলাচলের জন্যই হয়, তবু আমরা ব্যাখ্যার সুবিধার্থে বলি যে ঋণাত্মক ও ধনাত্মক উভয় প্রকারের তড়িৎই চলাচল করিতে পারে।

1.12. পৃথিবী একটি বিরাট পরিবাহী (Earth is a huge Conductor) : পৃথিবীর গোটা দেহে অসংখ্য পরমাণু রহিয়াছে। সুতরাং পৃথিবীর ইলেকট্রনের ভাণ্ডার অফুরন্ত বলিলেই হয়। মহাসমুদ্রে এক বিন্দু জল যোগ করিলে বা উহা হইতে একবিন্দু জল তুলিয়া লইলে যেমন মহাসমুদ্রের জলের পরিমাণের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় না, তেমনি পৃথিবী হইতে কিছু ইলেকট্রন লইলে বা পৃথিবীতে কিছু ইলেকট্রন যোগ করিলে উহাতে কোন তড়িৎ সঞ্চার হয় না।

মনুষ্যদেহ পরিবাহী ; সুতরাং একটী ধনাত্মক তড়িৎ-আহিত ধাতব দণ্ডকে যদি হাত দিয়া ধর, তবে পৃথিবীর বিরাট ভাণ্ডার হইতে ইলেকট্রন আসিয়া ধাতব দণ্ডের ধনাত্মক তড়িৎকে প্রশমিত করিবে। কিংবা বলিতে পারি ঐ ধনাত্মক তড়িৎ ভূমিতে চলিয়া যাইবে। আবার যদি ঋণাত্মক তড়িতে আহিত ধাতব দণ্ডকে হাত দিয়া স্পর্শ করা যায়, তবে উহার ইলেকট্রন পৃথিবীতে চলিয়া যাইবে ও দণ্ডটী উদাসীন হইয়া যাইবে।

সুতরাং একটী পিতলের দণ্ডকে হাতে ধরিয়া রেশম বা পশুচর্ম দ্বারা ঘষিলে কেন উহাতে তড়িৎ আহিত হয় না তাহা বুঝিতে পারা যায়। কিন্তু কাচের হাতল বা ফ্লানেল দ্বারা ধরিয়া উহাকে অন্তরিত (insulated), অর্থাৎ কোন পরিবাহীর সহিত সংস্পর্শ-বিচ্ছিন্ন করিয়া লইলে উহাতে ঘর্ষণে তড়িৎ সঞ্চার করা যায়।

1.13. তড়িৎ সম্বন্ধীয় পরীক্ষায় ব্যবহৃত কয়েকটি যন্ত্র ঃ

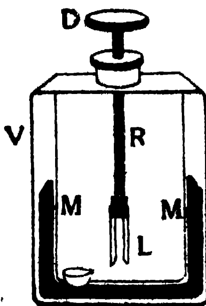
A. তড়িৎ-বীক্ষণ (Electroscope) :

তড়িতের অস্তিত্ব যাচাই করিবার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাহাকে তড়িৎ-বীক্ষণ বলে। এমন কি § 1.1-এ বর্ণিত পরীক্ষায় ব্যবহৃত কাগজের টুকরাগুলিকে তড়িৎ-বীক্ষণ বলা চলে।

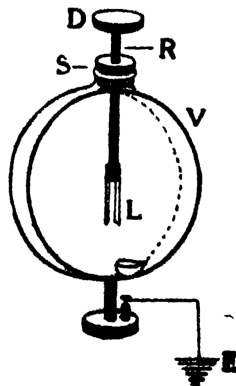
(a) পূর্বে বর্ণিত **পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণ** তড়িতের অস্তিত্ব বুঝিবার একটি সহজ যন্ত্র।

(b) **স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণ** (Gold-leaf Electroscope) : পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণ অপেক্ষা স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণ অনেক সূক্ষ্ম যন্ত্র (চিত্র 1·7)।

এ যন্ত্রে একটি পিতলের দণ্ডের (R) অন্তভাগে দুইটি অতিশয় পাতলা স্বর্ণ-পত্র (কিংবা অ্যালুমিনিয়াম পত্র) L পাশাপাশি লাগানো থাকে। দণ্ডের



1·7 (a)



1·7 (b)

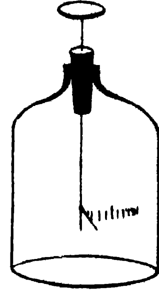
অপর প্রান্তে একটি পিতলের চাকতি D থাকে। একটি কাচের পাত্রের (V) দ্বারা দণ্ডের নীচের অংশ ও স্বর্ণ-পত্র দুইটি ঢাকা থাকে। পিতলের দণ্ডটিকে কাচের পাত্র হইতে অন্তরিত করিবার জন্য উহাকে গালা বা লাক্ষার ছিপি S-এর মধ্য দিয়া কাচপাত্রে ঢুকানো হয়। কাচ-পাত্রের দেওয়ালে স্বর্ণ-পত্রদুটির সোজা-সুজি দুইটি টিন বা অন্য ধাতুর পাত M লাগানো থাকে ও M-কে ভূমির সহিত সংযুক্ত করিবার ব্যবস্থা থাকে। আর এক প্রকারের যন্ত্রে কাচপাত্রের বদলে একটি ধাতুর পাত্র ব্যবহার করা হয়, তাহার সামনের ও পিছনের দেওয়াল কাচের হয়। যন্ত্রের ভূমিতে একটি স্ক্রু-এর সাহায্যে যন্ত্রটিকে ভূমিতে সংযুক্ত করা যায়।

যন্ত্রের ভিতরে একটি পাত্রে শুষ্ক ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের দানা রাখা হয়, তাহার ফলে যন্ত্রের ভিতরের বাতাস জলীয় বাষ্প-শূন্য থাকে।

তড়িৎ-আহিত কোন বস্তুকে তড়িৎ-বীক্ষণের উপরে চাকতির কাছে আনিলে পত্র দুটির বিস্ফারণ (divergence) হয়। সুতরাং ঐ বিস্ফারণ দেখিয়া

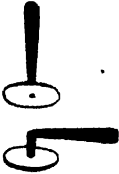
যন্ত্রের নিকট আনীত বস্তুটি তড়িৎ-আহিত কিনা, তাহা জানা যায়। বিস্ফারণের মাত্রা দেখিয়া আনীত আধানের পরিমাণের মোটামুটি আন্দাজও পাওয়া যায়।

(c) **আধুনিক পত্র তড়িৎ-বীক্ষণে** (চিত্র নং 1·8) দুটির পরিবর্তে একটি অ্যালুমিনিযাম পত্র দণ্ডের উপরে লাগানো থাকে। যন্ত্রের গায়ে একটি স্কেল আঁকা থাকে। তড়িৎ-আহিত বস্তু যন্ত্রের কাছে আনিলে পত্রটি বিস্ফারিত হয় ও বিস্ফারণের মাত্রা স্কেল হইতে মাপিযা আধানের পরিমাণ পাওযা যায়।



1·8

B. **প্রুফ প্লেন** (Proof plane) · তড়িতের প্রকৃতি পরীক্ষা করিবার জন্য সামান্য তড়িৎকে একস্থান হইতে অন্যস্থানে লইয়া যাইবাব কাজে প্রুফ প্লেন ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্রে একটি ছোট পিতল বা অন্য ধাতব চাকৃতির সহিত একটি ইবনাইটের অন্তরক হাতল সংযুক্ত থাকে। ফলে পিতলের চাকৃতিটি অন্তরিত অবস্থায় থাকে।



1·9

কোন তড়িৎ-আহিত বস্তুকে যদি তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া যাওয়া সম্ভব না হয়, তখন সেই বস্তুর আধানের প্রকৃতি পরীক্ষা করিবার প্রুফ প্লেন ব্যবহৃত হয়। অন্তরিত হাতল ধরিয়া পিতলের চাকৃতিটি তড়িৎ-আহিত বস্তুর গায়ে স্পর্শ করাইলে চাকৃতিতে কিছু আধান সঞ্চারিত হয়, তখন উহাকে তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া গিয়া তড়িতের পরীক্ষা করা যায়।

C. **ডিস্‌চার্জিং নব্** (Discharging knob) :

দুইটি বস্তুর মধ্যে তড়িৎ-সংযোগ (electrical connection) করিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়।

এই যন্ত্রে একটি অন্তরক হাতলের প্রান্তে দুইটি বাঁকা ধাতব দণ্ড লাগানো থাকে। দণ্ড দুইটির প্রান্তে একটি করিয়া ছোট ধাতব গোলক আছে। দণ্ডদুটি হাতলের-সহিত ধাতুর কজা দিয়া পরস্পর সংযুক্ত করিয়া আটকানো হয়, যাহাতে প্রয়োজন মত ধাতব গোলকদুটির মধ্যের দূরত্ব কম-বেশী করা যায়।



1·10

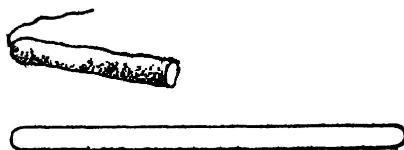
যে দুইটি বস্তুর মধ্যে সংযোগ স্থাপন করিতে হইবে যন্ত্রের অন্তরক হাতলে ধরিয়া গোলক দুটিকে তাহাদের সহিত স্পর্শ করা যায়। পরিবাহী ধাতব দণ্ডের মাধ্যমে তখন বস্তুদুটির মধ্যে তড়িৎ চলাচল সম্ভব হয়।

114. ঘর্ষণে সমপরিমাণ ও বিপরীত-ধর্মী তড়িৎ উৎপাদন হয় (Equal and opposite charges are developed by friction).

দুইটি বস্তুকে ঘর্ষণ করিলে একটি বস্তু হইতে অপরটিতে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন প্রবেশ করে বলিয়াই তড়িতের আধান হয়। যে বস্তু ইলেকট্রন হারায় তাহাতে ধনাত্মক তড়িতের সঞ্চার হয় ও যে বস্তু ইলেকট্রন লাভ করে তাহাতে ঋণাত্মক তড়িৎ সঞ্চারিত হয়। যেহেতু কেবলমাত্র কতকগুলি ইলেকট্রনকে স্থানান্তরের দ্বারা তড়িতের সঞ্চার হয় অতএব ইহা স্বাভাবিক যে আহিত ঋণাত্মক ও ধনাত্মক তড়িৎ পরস্পর সমান।

একটি সহজ পরীক্ষা দ্বারা এই তথ্য প্রমাণ করা যায়।

একটি ইবনাইটের দণ্ড ও উহার মাথায় পরানো যায় এমন একটি ফ্লানেলের টুপি লওয়া হয়। উভয়কে রৌদ্রে রাখিয়া শুষ্ক করা হয়। এখন টুপিটিকে



111

দণ্ডের মাথায় পরাইয়া কয়েকবার পাক দিতে হয়। এখন একবার দণ্ডটিকে ও আর একবার টুপিটিকে স্বতন্ত্রভাবে একটি স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণ বা একটি পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া গেলে স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ বা পিথ-বলের আকর্ষণ লক্ষ্য করা যায়। ইহাতে প্রমাণ হয় যে, উভয়ের মধ্যে তড়িতের সঞ্চার হইয়াছে।

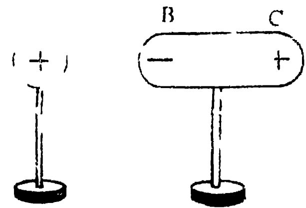
অতঃপর দণ্ডের তড়িৎ-আহিত প্রান্তে টুপিটিকে পরাইয়া উভয়কে একত্র তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া গেলে আর কোন বিস্ফারণ বা আকর্ষণ হইবে না। সুতরাং দণ্ড ও টুপি একত্রে উদাসীন।

দণ্ডে যে প্রকৃতির তড়িৎ আহিত হইয়াছে তাহা নিশ্চয় টুপিতে আহিত তড়িতের সমান ও বিপরীত-ধর্মী, নহিলে উভয়েই একত্র উদাসীন হইত না।

উভয়ের মধ্যে সমপ্রকৃতির তড়িৎ থাকিলে উভয়ে মিলিত অবস্থায় তড়িতের পরিমাণ বেশী হইত, ফলে তড়িৎ-বীক্ষণের উপরে প্রভাব বেশী হইত। উভয়ের মধ্যে বিপরীত প্রকৃতির, কিন্তু অসমান তড়িৎ থাকিলে উভয়কে মিলিত করিলে তড়িতের কিছুটা তখনও রহিয়া যাইত, ফলে তড়িৎ-বীক্ষণের উপরে সামান্য হইলেও কিছুটা প্রভাব হইত।

115 বৈদ্যুতিক আবেশ (Electrostatic Induction) ঃ

একটি আহিত বস্তুকে একটি অনাহিত পরিবাহীর কাছে আনিলে অনাহিত পরিবাহীর যে প্রান্ত আহিত বস্তুর নিকটবর্তী সেই প্রান্তে আহিত তড়িতের বিপরীত-ধর্মী তড়িৎ সঞ্চারিত হয় ও দূরবর্তী প্রান্তে আহিত তড়িতের সমধর্মী তড়িতের সঞ্চার হয়। এইভাবে প্রত্যক্ষ যোগাযোগ ছাড়াও কেবল নৈকট্যের দ্বারা কোন বস্তুতে তড়িৎ সঞ্চারিত হইবার নাম **বৈদ্যুতিক আবেশ**। চৌম্বক আবেশের সহিত ইহার মিল আছে। যে তড়িতের প্রভাবে আবেশ সৃষ্টি হইল তাহাকে বলা হয় আবেশ আধান (Inducing charge), আর আবেশের ফলে সৃষ্ট তড়িৎকে বলে আবিষ্ট আধান (Induced charge)।



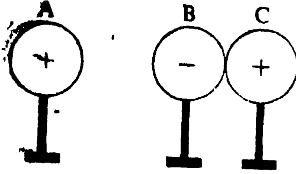
1·12

ইলেকট্রন তত্ত্বের সাহায্যে আবেশের ব্যাখ্যা করা চলে। আবেশী তড়িৎ যদি ধনাত্মক হয় তবে উহার আকর্ষণে যে বস্তুতে আবেশ সৃষ্টি করা হইতেছে তাহার মুক্ত ইলেকট্রনগুলি কাছে আসিয়া জমা হয় (চিত্র 1.12)। ধনাত্মক পরমাণুগুলি আবেশী তড়িতের বিকর্ষণে যতদূর সম্ভব দূরে সরিয়া যায়। আবেশী তড়িৎ ঋণাত্মক হইলে ইলেকট্রনগুলি দূরবর্তী প্রান্তে চলিয়া যায় ও ধনাত্মক পরমাণুগুলি নিকটবর্তী প্রান্তে চলিয়া আসে।

116. আবেশের ফলে সমান ও বিপরীতধর্মী আধানের সঞ্চার হয় (**Charges produced by induction are equal and opposite in nature**) :

পরীক্ষা : A, B ও C তিনটি অন্তরিত পরিবাহী গোলক লও (চিত্র নং 1.13)। ইহার A গোলকে ঘর্ষণের সাহায্যে বা অন্য কোন আহিত বস্তুকে স্পর্শ করাইয়া কিছুটা তড়িৎ সঞ্চার কর। B ও C-কে পরস্পর সংযুক্ত অবস্থায়

রাখ ও A-কে অন্তরক হাতলের সাহায্যে ধরিয়া B, C-এর কাছে লইয়া যাও। এখন C-এর অন্তরক হাতলে ধরিয়া উহাকে B হইতে বিচ্ছিন্ন কর। A-কে সরাইয়া লও। একটি অনাহিত স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে একবার B ও আর একবার C-কে লইয়া যাও। দেখিবে উভয় ক্ষেত্রেই স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ হইল। অতএব B ও C উভয়ের মধ্যেই তড়িৎ সঞ্চারিত হইয়াছে।



1 13

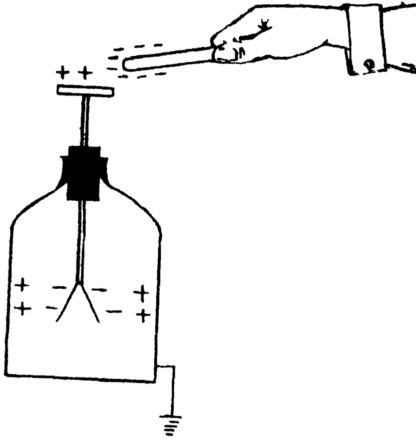
B ও C-কে সংযুক্ত কর। এইবার B ও C-কে পৃথক ভাবে তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া গেলে কোন প্রভাব দেখিতে পাইবে না; অতএব B ও C-এর তড়িৎ পরস্পরকে প্রশমিত করিয়াছে। তাহা হইলে বুঝিতে পারিতে যে B ও C-তে পরস্পরের সমান ও বিপরীত তড়িতের সঞ্চার হইয়াছিল।

. 117. **প্রথমে আবেশ, পরে আকর্ষণ** (**Induction precedes attraction**): একটি আহিত বস্তুকে পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া গেলে উহার উপরে আকর্ষণ হয়। আহিত বস্তুটি প্রথমে পিথ-বলের নিকটবর্তী প্রান্তে বিপরীত তড়িৎ আবিষ্ট করে। তখন এই আবিষ্ট তড়িৎ ও আবেশী তড়িৎ পরস্পরকে আকর্ষণ করে বলিয়াই পিথ-বলটি আকৃষ্ট হয়। পিথ-বলের মধ্যে আবেশের ফলে সমধর্মী তড়িতেরও সঞ্চার হয় এবং ইহার সহিত আবেশী তড়িতের বিকর্ষণ হয় বটে, কিন্তু এই তড়িৎ দূরে থাকায় ইহার বিকর্ষণী বল নিকটবর্তী বিপরীত তড়িতের আকর্ষণী বল অপেক্ষা কম হয়।

1.18. তড়িৎ-আহিত বস্তু কাছে আনিলে স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণে বিস্ফারণ হয় কেন?—

স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণের চাকতির কাছে কোন আবেশী তড়িৎ (মনে কর ঋণাত্মক) আনিলে চাকতিতে বিপরীত ধর্মী তড়িতের আবেশ হয়। সমধর্মী (ঋণাত্মক) আবিষ্ট তড়িৎ আবেশী তড়িৎ হইতে সুদূরে যাইবার চেষ্টা করে ও ফলে স্বর্ণ-পত্র দুইটিতে সঞ্চিত হয়। দুইটি স্বর্ণ-পত্রে একই প্রকৃতির আধান সঞ্চিত হয় বলিয়া উহাদের বিস্ফারণ হয়। আবার প্রতিটি স্বর্ণ-পত্র নিজের বিপরীত পাত্রের ভিতরে অবস্থিত টিনের পাতের উপরে আবেশ প্রয়োগ করে। ফলে

টিনের পাতের ভিতরের পৃষ্ঠে স্বর্ণ-পত্রের আধানের বিপরীত-ধর্মী ধনাত্মক তড়িৎ ও বাহিরের পৃষ্ঠে স্বর্ণ-পত্রের সমধর্মী ঋণাত্মক তড়িৎ সঞ্চিত হয়। টিনের পাতের সহিত ভূমির সংযোগ থাকায় টিনের পাতের ঋণাত্মক আধান স্বর্ণ-পত্রের তড়িতের বিকর্ষণে ভূমিতে চলিয়া যায়; কিন্তু টিনের পাতের ভিতরের পৃষ্ঠে আবিষ্ট ধনাত্মক তড়িৎ স্বর্ণ-পত্রের তড়িতের আকর্ষণে আবদ্ধ থাকে বলিয়া যাইতে পারে না। এই তড়িৎকে বদ্ধ আধান (bound charge) বলা হয়।



I 1; স্বর্ণ পত্র তড়িৎ বীক্ষণে তড়িৎ আবেশ

টিনের পাতের বাহিরের পৃষ্ঠে স্বর্ণ-পত্রের সমধর্মী যে তড়িৎ সঞ্চারিত হইয়াছিল তাহা আবেশী তড়িতের দ্বারা বিকর্ষিত হয় বলিয়া সুবিধা পাইলেই বহুদূরে চলিয়া যায়, এই তড়িৎকে মুক্ত আধান (free charge) বলে। টিনের পাতের বদ্ধ তড়িৎ স্বর্ণ-পত্রের বিপরীত তড়িতের উপর আকর্ষণ প্রয়োগ করিয়া উহার বিস্ফারণ আরও বাড়াইয়া দেয়।

ইলেকট্রন তত্ত্ব অনুসারে তড়িৎ-বীক্ষণের ব্যবহারের সুন্দর ব্যাখ্যা দেওয়া চলে।

তড়িৎ-বীক্ষণের চাকৃতি, দণ্ড ও স্বর্ণ-পত্র পরিবাহী, সুতরাং ইহাদের মধ্যে অনেক মুক্ত ইলেকট্রন আছে। ঋণাত্মক তড়িৎ চাকৃতির কাছে আনিলে, বিকর্ষণের ফলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলি দূরে অর্থাৎ স্বর্ণ-পত্রে চলিয়া যায় ও চাকৃতির পরমাণুগুলি ইলেকট্রন হারাইয়া ধনাত্মক হয়

ধনাত্মক তড়িৎ চাকৃতির কাছে আনিলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলি আকর্ষণের জন্য চাকৃতিতে ভীড় করে ও স্বর্ণ-পত্রগুলি ঋণাত্মক হয়।

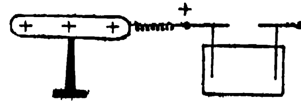
স্বর্ণ-পত্রের দুই পাটিতে সমধর্মী তড়িৎ সঞ্চয় হওয়ায় বিকর্ষণ হয়।

1.19. স্পর্শে ও আবেশে তড়িৎ সঞ্চার (Electrification by conduction & induction) : তড়িৎ-সম্বন্ধীয় পরীক্ষা করিতে গেলে তড়িৎ-আহিত বস্তুর প্রয়োজন হয়। ঘর্ষণের সাহায্যে যে তড়িৎ উৎপাদন করা যায় সেই তড়িতের পরিমাণ এত কম হয় যে তাহার দ্বারা পরীক্ষা করা সম্ভব হয় না। তাহা ছাড়া, অন্তরক অপেক্ষা পরিবাহীতে বেশী তড়িৎ সঞ্চার করা যায়, সেজন্য তড়িতের বাহক হিসাবে পরিবাহী ব্যবহৃত হয়।

এই পরিবাহীকে হয় কাচ বা লাক্ষা প্রভৃতি নির্মিত অন্তরক ষ্ট্যাণ্ডের উপর বসাইয়া লইতে হয়, কিংবা অপরিবাহী হাতলের সাহায্যে ধরিতে হয়।

কোন পদার্থে তড়িৎ সঞ্চার করিতে গেলে সাধারণতঃ স্পর্শের সাহায্য কিংবা আবেশের সাহায্য লইতে হয়।

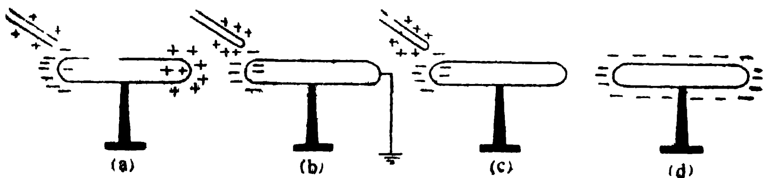
স্পর্শের সাহায্যে তড়িৎ সঞ্চার : অন্তরিত পরিবাহীকে তা.রর সাহায্যে কোন তড়িৎ উৎপাদক যন্ত্রের সহিত সংযুক্ত করিতে হয় (চিত্র নং 1.15)। তখন যন্ত্র হইতে কিছু তড়িৎ পারস্পরিক বিকর্ষণের জন্য পরিবাহীতে ছড়াইয়া পড়ে।



1 15

আবেশে তড়িৎ সঞ্চার : যে পরিবাহীতে তড়িৎ সঞ্চার করিতে হইবে তাহাকে অন্তরিত করিতে হইবে।

(1) একটি তড়িৎ-আহিত বস্তুকে পরিবাহীর কাছে আনিতে হয়। মনে কর, বস্তুটিতে ধনাত্মক আধান আছে। চিত্র নং 1.16 (a)]। আবেশের ফলে



1.16 আবেশে তড়িৎ সঞ্চারের বিভিন্ন পর্যায়

পরিবাহীর নিকটবর্তী প্রান্তে বিপরীত-ধর্মী, অর্থাৎ আলোচ্য ক্ষেত্রে ঋণাত্মক আধান সঞ্চারিত হয়, এবং সুদূর প্রান্তে আবেশী তড়িতের সমধর্মী, অর্থাৎ ধনাত্মক আধান সঞ্চারিত হয়।

(ii) আবেশী বস্তুকে কাছে রাখিয়া পরিবাহীকে আঙুল দিয়া স্পর্শ করিতে হয়, কিংবা তারের সাহায্যে ভূমিতে সংযুক্ত করিতে হয়। ফলে সুদূর প্রান্তের মুক্ত আধান ভূমিতে চলিয়া যায়। নিকটবর্তী প্রান্তের আধান বদ্ধ (bound) হওয়ায় চলিয়া যাইতে পারে না [চিত্র নং 1·16 (b)]।

(iii) আবেশী আধানকে কাছে রাখিয়া পরিবাহীর ভূমি-সংযোগ বিচ্ছিন্ন করিতে হয় [চিত্র নং 1·16 (c)]। এখন বদ্ধ আধান নিকটবর্তী প্রান্তে কেন্দ্রীভূত থাকে।

(iv) আবেশী আধানকে সরাইয়া ফেলিলে [চিত্র নং 1·16 (d)] বদ্ধ আধান সমস্ত পরিবাহীর মধ্যে ছড়াইয়া পড়ে।

লক্ষ্য কর, এই প্রণালীতে পরিবাহীর মধ্যে আবিষ্ট তড়িৎ আবেশী তড়িতের বিপরীত ধর্মী হয়।

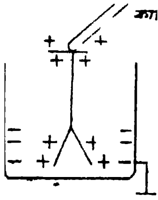
আমরা যদি ঋণাত্মক আবেশী তড়িৎ লইতাম, তবে আবেশের দ্বারা পরিবাহীতে ধনাত্মক তড়িৎ সঞ্চার করিতে পারিতাম।

1.20. স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণকে আহিত-করণ (Charging of a Gold-leaf Electroscope) : অনেক পরীক্ষায় তড়িৎ-বীক্ষণকে আহিত করিয়া লইতে হয়। স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণকে স্পর্শ ও আবেশ উভয় পদ্ধতিতেই আহিত করা যায়।

(a) স্পর্শ প্রণালীতে স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণকে আহিত করণ (To charge a Gold-leaf electroscope by conduction) : স্পর্শ দ্বারা তড়িৎ-বীক্ষণে ঋণাত্মক তড়িৎ-সঞ্চার করিতে হইলে ফ্লানেল দ্বারা ঘর্ষিত এবং ফলে ঋণাত্মক তড়িতে আহিত একটি ইবনাইট দণ্ডের আহিত প্রান্ত উহার চাক্তিতে স্পর্শ করাইতে হয়। পারস্পরিক বিকর্ষণের ফলে ঋণাত্মক তড়িতের কিছুটা অংশ তড়িৎ-বীক্ষণের চাক্তি, দণ্ড ও পত্রে ছড়াইয়া পড়ে এবং একই প্রকার তড়িতের পারস্পরিক বিকর্ষণের জন্য পত্র দুইটি বিস্ফারিত হয়। যন্ত্রের দেওয়ালে সংযুক্ত টিনের পাতের ভিতরের পৃষ্ঠে ধনাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট হয়, এবং সাধারণতঃ তড়িৎ-বীক্ষণ ভূমির সহিত টেবিল ইত্যাদির দ্বারা সংযুক্ত থাকে বলিয়া টিনের পাতের বাহিরের পৃষ্ঠে আবিষ্ট তড়িৎ ভূমিতে চলিয়া যায়। টিনের পাতের তড়িতের আকর্ষণে পত্রের বিস্ফারণ বাড়ে।

স্পর্শ দ্বারা তড়িৎ-বীক্ষণে ধনাত্মক তড়িৎ সঞ্চার করিতে হইলে রেশমে ঘর্ষিত কাচদণ্ড লইয়া তড়িৎ-বীক্ষণের চাক্তিতে স্পর্শ করাইতে হয়। কাচদণ্ডে ঘর্ষণের

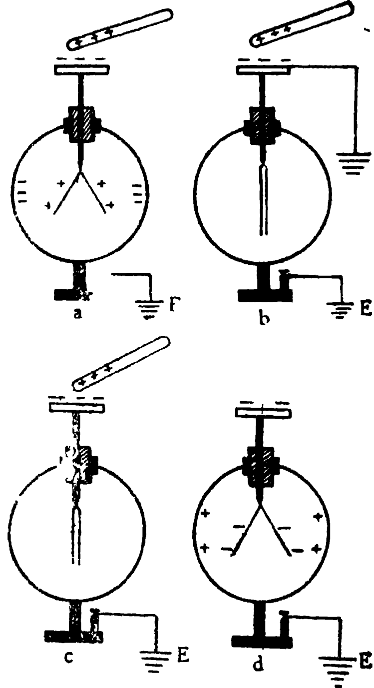
ফলে ধনাত্মক তড়িতের সঞ্চার হয়। আত্ম-বিকর্ষণের (self-repulsion) জন্য এই তড়িৎ চাকৃতি, তড়িৎ-বীক্ষণের দণ্ড ও পত্রে ছড়াইয়া পড়ে। দেওয়ালে সংযুক্ত টিনের পাতের ভিতরের পৃষ্ঠে ঋনাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট হয়। বাহিরে পৃষ্ঠে আবিষ্ট ধণাত্মক তড়িৎ ভূমিতে চলিয়া যায়। পত্র দুটির ধনাত্মক আধানের মধ্যে বিকর্ষণ হয় বলিয়া উহারা বিস্ফারিত হয়। টিনের পাতের ঋণাত্মক আধান পত্রের ধনাত্মক আধানকে আকর্ষণ করে বলিয়া বিস্ফারণ আরও বাড়ে।



I 17
স্বর্ণদ্বারা ঋণাত্মক তড়িৎ সঞ্চার

(b) আবেশের সাহায্যে স্বর্ণপত্র তড়িৎ-বীক্ষণের আহিতকরণ (To charge a gold-leaf electroscope by induction) :

আবেশের দ্বারা ঋণাত্মক তড়িৎ-সঞ্চার—একটি কাচদণ্ডকে রেশম দ্বারা ঘর্ষণ করিয়া উহাতে বা বৈদ্যুতিক যন্ত্রের সাহায্যে একটি অন্তরিত ধাতব দণ্ডে ধনাত্মক তড়িৎ সঞ্চার করা হয়। দণ্ডটি একটি তড়িৎ বীক্ষণের চাকৃতির নিকটে উহাকে স্পর্শ না করিয়া ধরা হয়। আবেশের ফলে চাকৃতিতে ঋণাত্মক তড়িৎ-সঞ্চার হয়। আবেশে যে ধনাত্মক তড়িতের সঞ্চার হয় তাহা আবেশী তড়িতের বিকর্ষণের ফলে স্বর্ণপত্রে গিয়া জমা হয়। স্বর্ণ-পত্রের আবেশে তড়িৎ-বীক্ষণের দেওয়ালের টিনের পাতে ঋণাত্মক তড়িৎ সঞ্চার হয়। তড়িৎ-বীক্ষণের স্বাভাবিক ভূমি সংযোগের জন্য টিনের বাহিরের পৃষ্ঠে আবিষ্ট ঋণাত্মক আধান ভূমিতে চলিয়া যায়। স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ হয় [চিত্র 1 18 (a)]।

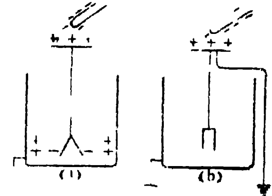


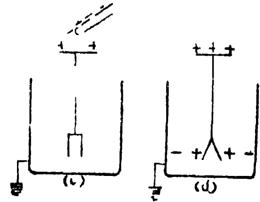
I 18
আবেশে স্বর্ণপত্র তড়িৎ বীক্ষণে ঋণাত্মক তড়িৎ সঞ্চার

তড়িত-বীক্ষণের চাক্তিতে আঙুল দ্বারা স্পর্শ করা হয় দেহ পরিবাহী বলিয়া স্বর্ণ-পত্রে অবস্থিত মুক্ত ধনাত্মক আধান ভূমিতে চলিয়া যায়, কিন্তু চাক্তিতে সঞ্চারিত ঋণাত্মক আধান আবেশী তড়িতের আকর্ষণে আবদ্ধ থাকে বলিয়া যাইতে পারে না। স্বর্ণ-পত্রের আধান চলিয়া যাওয়ার ফলে স্বর্ণ-পত্রে নিমীলিত হয় (collapse); দেওয়ালের টিনের পাতে আর আবেশ না থাকায় উহার আধান ভূমিতে চলিযা যায় [চিত্র 1·18 (b)]।

চাকতির সহিত আঙুলের সংযোগ বিচ্ছিন্ন হয় [চিত্র 1·18 (c)] আবেশী বস্তুকে সরাইযা লওযা হয়। চাকতিতে বদ্ধ ঋণাত্মকে আধান এখন মুক্ত হইয়া যায় ও তড়িৎ-বীক্ষণের দণ্ড পরিবাহী বলিয়া পারস্পরিক বিকর্ষণের জন্য চাক্তি, দণ্ড ও স্বর্ণ-পত্রে ছড়াইযা পড়ে। স্বর্ণ-পত্রের ঋণাত্মক আধান দেওয়ালের টিনের পাতের ভিতরের পৃষ্ঠে ধনাত্মক আধান আবিষ্ট করে। টিনের পাতের বাহিরের পৃষ্ঠে আবিষ্ট ঋণাত্মক আধান মুক্ত বলিয়া ভূমিতে চলিয়া যায়। [চিত্র 1·18(d)]

তড়িৎ-বীক্ষণে ধনাত্মক তড়িৎ সঞ্চার করিবার জন্য আবেশী তড়িত হিসাবে ঋণাত্মক তড়িত লইতে হয়। ফ্লানেলে ঘর্ষিত ইবনাইট দণ্ড, বা বৈদ্যুতিক যন্ত্রের ঋণাত্মক প্রান্তে স্পর্শিত অন্তরিত ধাতব দণ্ড আবেশ ঋণাত্মক তড়িতের উৎস হিসাবে ব্যবহৃত হয। চিত্র নং 1.19 হইতে এই আবেশের পদ্ধতি বুঝিতে পারিবে।





1·19 আবেশে তড়িৎ-বীক্ষণে ধনাত্মক তড়িৎ সঞ্চার

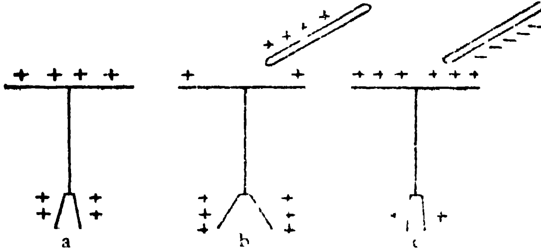
ঋণাত্মক তড়িৎ-বাহী বস্তুটিকে তড়িৎ-বীক্ষণের চাক্তির কাছে লইয়া আসা হয়। আবেশের জন্য চাক্তিতে ধনাত্মক ও স্বর্ণ-পত্রে ঋণাত্মক তড়িৎ সঞ্চারিত হয। তড়িৎ-বীক্ষণের দেওয়ালে ধনাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট হয। দেওয়ালের বাহিরের দিকে আবিষ্ট ঋণাত্মক আধান ভূমিতে চলিযা যায়। স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ হয [চিত্র 1·19 (a)]।

তড়িৎ-বীক্ষণের চাক্তিটি আঙুল দিয়া স্পর্শ করা হয। স্বর্ণ-পত্রের আবিষ্ট মুক্ত ঋণাত্মক আধান ভূমিতে চলিযা যায। ফলে দেওয়ালের আবিষ্ট ধনাত্মক আধানও ভূমিতে চলিযা যায। স্বর্ণ-পত্রের নিমীলন হয়। চাক্তিতে আবিষ্ট ধনাত্মক আধান বদ্ধ হওয়ায় চলিয়া যাইতে পারে না [চিত্র 1·19 (b)]।

আবেশী তড়িৎকে কাছে রাখিয়া ভূমিতে সংযোগকারী আঙুল সরাইয়া লওয়া হয় [চিত্র 1·19 (c)]।

আবেশী তড়িৎ সরাইয়া লওয়া হয়। চাক্‌তিতে ধনাত্মক আধান আর কাহারও আকর্ষণে বদ্ধ থাকে না বলিয়া চাকতি, দণ্ড ও স্বর্ণ-পত্রে ছড়াইয়া পড়ে। দেওয়ালে ঋণাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট হয়। স্বর্ণ-পত্রে ধনাত্মক তড়িৎ সঞ্চারের জন্য উহার বিস্ফারণ হয় [চিত্র 1·19 (d)]।

1.21: আহিত তড়িৎ-বীক্ষণের ব্যবহার (Use of a charged electroscope) : অনাহিত তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে কোন আহিত বস্তুকে আনিলে স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ দেখিয়া বস্তুটি আহিত কিনা তাহা বুঝিতে পারা যায়।



1·20 আহিত তড়িৎ-বীক্ষণের উপরে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িতের প্রভাব

কিন্তু এই উপায়ে আহিত বস্তুটির তড়িৎ ধনাত্মক কি ঋণাত্মক তাহা বুঝিবার উপায় নাই ; ধনাত্মক বা ঋণাত্মক, যে প্রকার তড়িৎ-ই অনাহিত তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে আনা যাক্ না কেন, আবেশের ফলে চাক্‌তিতে বিপরীত-ধর্মী ও স্বর্ণ-পত্রে সমধর্মী আধান সঞ্চারিত হইয়া স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ হইবে।

কোন তড়িৎ-আহিত বস্তুতে কোন্ প্রকৃতির তড়িৎ আছে তাহা বুঝিতে গেলে বস্তুটিকে একটি তড়িতে আহিত তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া গিয়া পরীক্ষা করিতে হয়।

মনে কর একটি স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণে ধনাত্মক তড়িৎ সঞ্চারিত করা হইয়াছে [চিত্র 1·20 (a)]। এখন উহার পত্রগুলি খানিকটা বিস্ফারিত অবস্থায় আছে।

উহার চাকতির কাছে একটি ধনাত্মক তড়িৎ-বাহী বস্তু লইয়া গেলে এই ধনাত্মক তড়িৎ চাক্‌তিতে অবস্থিত ধনাত্মক তড়িৎকে বিকর্ষণ করিবে, ফলে

চাক্তির ধনাত্মক তড়িতের সমস্তটা কিংবা কিছুটা, দূরে অবস্থিত স্বর্ণ-পত্রে চলিয়া যাইবে, এবং স্বর্ণ-পত্রে মোট ধনাত্মক তড়িৎ বাড়িয়া যাইবে ; ফলে স্বর্ণ-পত্রে বিস্ফারণ বাড়িবে [চিত্র 1·20 (b)]।

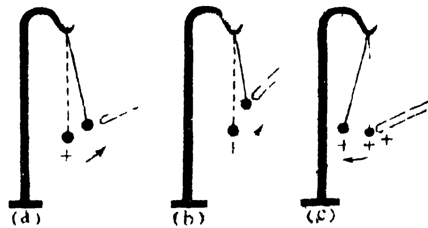
চাকৃতির কাছে যদি ঋণাত্মক তড়িৎ আনা যায় তবে উহার আকর্ষণের ফলে স্বর্ণ-পত্র হইতে ধনাত্মক তড়িৎ চাক্তিতে চলিয়া আসিবে, ফলে স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ কমিয়া যাইবে [চিত্র 1·20 (c)]।

অনাহিত বস্তুকে চাকৃতির কাছে আনিলে স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণের পরিবর্তন হইবে না। (প্রকৃতপক্ষে এক্ষেত্রে বিস্ফারণ সামান্য কমে ; কারণ আনীত বস্তুটীর নিকটবর্তী প্রান্তে আবেশের ফলে বিপরীত-ধর্মী তড়িতের সঞ্চার হইয়া উহার আকর্ষণে স্বর্ণ-পত্র হইতে কিছু তড়িৎ চাকতিতে চলিয়া আসে। তবে সাধারণতঃ এই প্রভাব অতি সামান্য)।

তাহা হইলে, একটি আহিত তড়িৎ-বীক্ষণের সাহায্যে পরীক্ষা করিয়া আমরা একটি বস্তু আহিত কি অনাহিত, এবং আহিত হইলে কোন্ প্রকৃতির তড়িতে আহিত তাহা বুঝিতে পারি।

বস্তুটি উহার কাছে আনিলে যদি (i) বিস্ফারণের পরিবর্তন না হয়, তবে বস্তুটি অনাহিত, (ii) বিস্ফারণ বাড়িলে আধান বীক্ষণের সঞ্চারিত তড়িতের সমগোত্রীয়, এবং (iii) বিস্ফারণ কমিলে বস্তুটিতে বীক্ষণের সঞ্চারিত তড়িতের বিপরীত গোত্রীয় তড়িৎ আছে।

আহিত পিথ-বল তড়িৎ-বীক্ষণে অবশ্য ব্যাপারটি এত পরিষ্কার বুঝা যায় না। 1·21 নং চিত্র হইতে ইহা তোমরা বুঝিতে পারিবে। আহিত পিথ-বল। তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে কোন বস্তু আনিলে যদি পিথ-বলটি আকর্ষিত হয় তবে বস্তুটি (a) অনাহিত হইতে পারে [চিত্র 1·21 (a), (b)] কিংবা বিপরীত প্রকৃতির তড়িতে আহিত হইতে পারে [চিত্র 1·21 (b)]; আর (c) বিকর্ষণ হইলে অবশ্য পরিষ্কার হইবে যে বস্তুটি সম-প্রকৃতির তড়িতে আহিত [চিত্র 1·21 (c)]।



1·21

অবশ্য একটি ধনাত্মক ও একটি ঋণাত্মক তড়িতে আহিত পিথ-বল

তড়িৎ-বীক্ষণ থাকিলে আর অসুবিধা হইবে না। যে বস্তুটিকে পরীক্ষা করিতে হইবে তাহা যদি অনাহিত হয় তবে দুইটি পিথ বলের উপরই আকর্ষণ প্রয়োগ করিবে, আর যদি আহিত হয় তবে একটি ক্ষেত্রে আকর্ষণ ও একটি ক্ষেত্রে বিকর্ষণ হইবে। কোন্ ক্ষেত্রে কি ফল হইল তাহা দেখিয়াই আহিত তড়িতের প্রকৃতি বুঝা যাইবে।

প্রশ্নমালা

1. "কোন বস্তু তড়িৎ-আহিত"—এই কথার অর্থ কি? কোন বস্তুকে তড়িৎ-আহিত করিলে উহার মধ্যে যে শক্তির সঞ্চার হয়, তাহা কোথা হইতে আসে?

What is the meaning of the statement—a body is electrically charged? (Pat. 1924)

What is the source from which an electrified body receives energy?

2. দ্যুফের সূত্র কি? ইহা কিরূপে পরীক্ষা করিবে?

What is Du Fay's Law? How do you experimentally demonstrate it?

3. বিকর্ষণই তড়িতের প্রকৃষ্ট প্রমাণ—ব্যাখ্যা কর।

Repulsion is a surer test of electrification—Explain. (H. S. 1960)

4. পরিবাহী ও অপরিবাহী পদার্থ কাহাকে বলে? ইলেকট্রন তত্ত্বের সাহায্যে পরিবাহিতার অর্থ বুঝাইয়া দাও।

What is meant by a conductor and an insulator? Explain conductivity according to electron theory.

5. ইলেক্ট্রন তত্ত্ব সংক্ষেপে বর্ণনা কর। ঘর্ষণে বিদ্যুৎ-আহিতকরণ এই তত্ত্বের দ্বারা কি ভাবে ব্যাখ্যা করা যায়?

Discuss in brief the Electron theory. How can the theory explain 'Electrification by friction.' (C. U. 1932)

6. ব্যাখ্যা কর :—

প্রোটন, ইলেক্ট্রন, নিউট্রন, আণবিক ভার, পরমাণু-অংক। কোন পরমাণুর উদাহরণ দেখাইয়া প্রথম তিনটির উপরে আণবিক ভার ও পরমাণু-অংক কি ভাবে নির্ভর করে বুঝাইয়া দাও।

Explain the terms :—

Proton, Electron, Neutron, Atomic Weight, Atomic Number, Explain, taking an atom as example, how the atomic weight and atomic number depend on the first three.

7. ব্যাখ্যা কর :—

(i) একটি পিতলের দণ্ডকে হাতে ধরিয়া রেশম দিয়া ঘষিলে তড়িৎ-আহিত করা যায় না। কিন্তু রবারের দস্তানা পরিয়া ধরিলে উহাতে তড়িৎ দেওয়া যায়।

(ii) শুকনা চুলে চিরুনী চালাইলে পট্‌পট্ শব্দ হয়।

(iii) একটি আহিত ইবনাইট-দণ্ডকে পিথবল তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে আনিলে প্রথমে পিথ-বল আকৃষ্ট হয়, কিন্তু দণ্ডকে স্পর্শ করিবার পরই সবেগে বিকষিত হয়।

(iv) পৃথিবী একটি বিরাট সুপরিবাহী।

Explain :—

(i) a brass-rod, held in hand, cannot be electrified by rubbing with a piece of silk, but the same, when held in rubber gloves, can be electrified.

(ii) when dry hair is combed, a popping sound is heard,

(iii) when a charged ebonite rod is brought near a pith-ball electroscope, the pith-ball is attracted ; but once it touches the rod, it is repelled violently ,

(iv) Earth is a huge conductor.

8. "আবেশে তড়িৎ-আহিতকরণ" কাহাকে বলে একটি পরীক্ষা দ্বারা বুঝাও। ইলেকট্রন তত্ত্ব অনুসারে ইহাকে কিরূপে ব্যাখ্যা করিবে ?

Describe an experiment to demonstrate what is meant by 'electrification by induction ?' How can you explain it from electron theory ?

(H. S. 1960 ; C. U. 1934)

9. আবেশে দুইটি সমান ও বিপরীত ধর্মী আধানের সঞ্চার হয়—কিরূপে পরীক্ষা করিবে ?

Two equal and opposite charges are produced by induction,—how do you demonstrate it ?

10. প্রথমে আবেশ, পরে আকর্ষণ—ব্যাখ্যা কর।

Induction precedes attraction—explain.

11. একটি স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণের বর্ণনা কর। ইহাকে স্পর্শ ও আবেশের সাহায্যে কি ভাবে ধনাত্মক তড়িতে আহিত করিবে ?

Describe a gold-leaf electroscope. (H. S. 1960 ; C. U. 1922, 24, 27, 45, 52)

How can you charge it positively by conduction and induction.

(C. U. 1950, 51 cf. Pre. U. 1962)

12. তোমাকে একটি ইবনাইট দণ্ড ও একটুকরা ফ্লানেল দেওয়া হইল ; উহাদের আবেশে কিরূপে একটি স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণকে (a) ধনাত্মক ও (b) ঋণাত্মক তড়িতে আহিত করিবে ?

You are given an ebonite rod and a piece of flannel ; how can you

charge a gold-leaf electroscope (a) positively, (b) negatively by induction with their help? (C. U. 1935)

[সংকেত : ইবনাইট দণ্ডকে ফ্লানেল দিয়া ঘষিলে দণ্ডে ঋণাত্মক ও ফ্লানেলে ধনাত্মক তড়িৎ আহিত হইবে। দণ্ড তড়িৎ-বীক্ষণে আবেশে ধনাত্মক ও ফ্লানেল ঋণাত্মক তড়িৎ সঞ্চার করিবে]।

13. একটি আহিত ইবনাইট দণ্ডকে স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণের চাক্তিতে স্পর্শ করিলে স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ হইবে ; এখন দণ্ডটিকে সরাইয়া ফেলিলে বিস্ফারণ কমিবে। কেন?

When a charged ebonite rod is placed in contact with the disc of a gold-leaf electroscope, the leaves diverge ; now if the rod is removed the divergence decreases. Why?

[সংকেত : ইবনাইট অপরিবাহী, কাজেই প্রথমে বিস্ফারণ হইবে মূলতঃ আবেশে তড়িৎ সঞ্চারের জন্য, কিন্তু পরে স্পর্শে সঞ্চারিত সামান্য তড়িৎ থাকে, আবেশ থাকে না]

14. অনাহিত স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে একটি আহিত বস্তু আনিলে স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ হয় কেন?

Why do the leaves of an uncharged gold-leaf electroscope diverge in the proximity of a charged body?

15. একটি আহিত তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে একটি অনাহিত পরিবাহী আনিলে স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ কমিয়া যায় কেন?

Why does the divergence of the leaves decrease when an uncharged conductor is brought near a charged electroscope?

16. একটি স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণের সাহায্যে কোন বস্তুতে আধানের অস্তিত্ব ও প্রকৃতি কিরূপে বুঝিবে ব্যাখ্যা কর।

Explain how you can detect the existence and nature of charge on a body with the help of a gold-leaf electroscope. (H, S. 1960; cf 1951 ; Pre. U. 1952)

17. ঘর্ষণের ফলে দুইটি সমান ও বিপরীত আধানের সৃষ্টি হয়—পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

Two equal and opposite charges are produced by friction—demonstrate. (C. U. 1942, 44, 51, 52 ; Pre. U. 1952)

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

আধানের ধর্ম

(Properties of charges)

2.1. আহিত পরিবাহীতে আধান পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে (Charge resides on the outer surface of a charged conductor) :

কোন পরিবাহীকে তড়িতে আহিত করিলে উহা নিরেটই হউক বা ফাঁপাই হউক, দেখা যায় যে তড়িৎ উহার বাহিরের পৃষ্ঠেই অবস্থান করে। পরিবাহীর ভিতরে ইলেকট্রনগুলি মুক্ত অবস্থায় থাকে। পরিবাহীতে ঋণাত্মক তড়িতের অর্থ হইল ইলেক্‌ট্রনের আধিক্য ও ধনাত্মক তড়িতের অর্থ হইল ইলেক্‌ট্রনের ঘাট্‌তি। ঋণাত্মক তড়িতে আহিত পরিবাহীতে বাড়তি ইলেক্‌ট্রনগুলি পরস্পরকে বিকর্ষণ করে, তেমনি ঘাট্‌তির বেলায়ও ধনাত্মক তড়িৎ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে বলা যায়। সুতরাং ইহারা মুক্ত হইলে এমনভাবে ছড়াইয়া পড়ে যেন পরস্পর হইতে যতদূরে সম্ভব থাকিতে পারে। এখন, পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল ভিতরের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল অপেক্ষা বেশী, সুতরাং আশা করা যায় যে স্বাভাবিক ভাবেই বেশী জায়গায় পাইবার জন্য তড়িৎ বাহিরের পৃষ্ঠেই ছড়াইয়া পড়ে। অপরিবাহীতে আধান মুক্ত থাকে না বলিয়া ছড়াইয়া পড়িতে পারে না, ফলে বাহিরের পৃষ্ঠে যায় না।

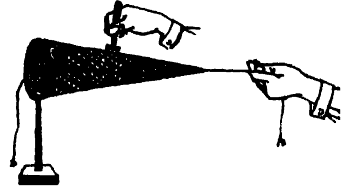
নীচের পরীক্ষাগুলির যে কোন একটি দিয়া পরিবাহীর পৃষ্ঠে আধানের ব্যাপ্তির তথ্য প্রমাণ করা যায়।

(a) **ফ্যারাডের প্রজাপতির-জাল পরীক্ষা (Faraday's Butter-flynet experiment)**—আধান পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে এই তথ্যকে ফ্যারাডে একটি সুন্দর ও সহজ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন।

একটি শংকুর আকার-বিশিষ্ট (cone-shaped) মস্‌লীন বা কার্পাস সুতার জালকে একটি ধাতব আংটার সাহায্যে একটি অন্তরক ষ্ট্যাণ্ডের উপরে আটকানো হয়। জালের শীর্ষে দুই পৃষ্ঠে দুইটি লম্বা রেশমী সুতা আটকানো

থাকে। এই সুতা দুইটির যে কোন একটি ধরিয়া টানিয়া জালটিকে উল্টাইয়া ফেলা যায়।

একটি ধনাত্মক বা ঋণাত্মক তড়িতে আহিত বস্তুর স্পর্শের সাহায্যে জালের ভিতরের পৃষ্ঠকে আহিত করা হয়। জালটিকে সুতার সাহায্যে টান করিয়া ধরা হয় (চিত্র2·1)। একটি অনাহিত প্রুফ প্লেনের অন্তরিত হাতল ধরিয়া



2·1

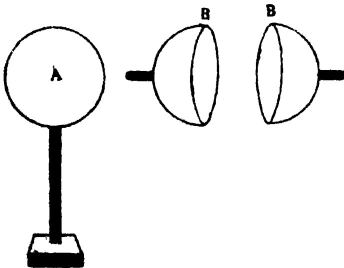
প্রুফ প্লেনকে জালের ভিতরের পৃষ্ঠে স্পর্শ করানো হয়, ভিতরের পৃষ্ঠে কোন আধান থাকিলে প্রুফ প্লেন স্বভাবতই উহার কিছুটা আহরণ করিবে। এখন প্রুফ প্লেনকে একটি অনাহিত স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া গেলে স্বর্ণ-পত্রে কোন বিস্ফারণ দেখা যায় না। তাহা হইলে ভিতরের পৃষ্ঠে সঞ্চারিত তড়িৎ আর ভিতরের পৃষ্ঠে নাই। প্রুফ প্লেন জালের বাহিরের পৃষ্ঠে স্পর্শ করিয়া তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া গেলে কিন্তু স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ দেখা যায়। সুতরাং বাহিরের পৃষ্ঠে আধান আছে।

এখন ভিতর দিকের রেশমী সুতাকে টানিয়া জালটিকে উলটাইয়া ফেলা হয়। পূর্বে জালের যে পৃষ্ঠ বাহিরের দিকে ছিল, তাহা ভিতরে চলিয়া আসিল, এবং পূর্বের ভিতরের পৃষ্ঠ এখন বাহিরের পৃষ্ঠ হইল। এইবার প্রুফ প্লেন দ্বারা পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে এইবার ভিতরের (অর্থাৎ পূর্বের বাহিরের) পৃষ্ঠে আধান নাই, কিন্তু এবারকার বাহিরের পৃষ্ঠে আধান আছে।

অতএব বলা যায়, তড়িৎ পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে।

বায়ো'র পরীক্ষা (Biot's Experiment) :

এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত যন্ত্রের দুটি অংশ। একটি ধাতব গোলক A-কে একটি অন্তরিত ষ্ট্যাণ্ডের উপর দাঁড় করানো থাকে। B, B দুইটি ফাঁপা অর্ধগোলক; ইহাদের ভিতরের ব্যাস এমন যে ইহাদের A গোলকের উপর বসাইলে ইহারা A গোলককে সম্পূর্ণ ঢাকিয়া বসে ও উহার সংস্পর্শে থাকে। B অর্ধগোলকে একটি করিয়া অন্তরক হাতল থাকে।



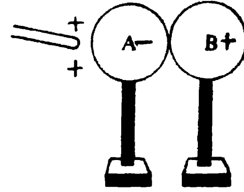
2·2

A গোলকে খানিকটা তড়িৎ আহিত করা হয়। এখন অন্তরিত হাতল ধরিয়া B, B অর্ধগোলক দুটিকে A গোলকের উপরে বসানো হয় এবং আবার খুলিয়া ফেলা হয়। সম্পূর্ণ অন্তরিত অবস্থায় B, B অর্ধগোলক দুটির যে কোন একটিকে কোন অনাহিত স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া গেলে স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ হইবে। সুতরাং B অর্ধগোলক দুটি আহিত হইয়াছে বুঝা যায়। A গোলককে এখন অনাহিত তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া গেলে কোন বিস্ফারণ হইবে না, সুতরাং A গোলকে কোন আধান নাই।

যখন A গোলককে B, B অর্ধগোলক দিয়া ঢাকিয়া দেওয়া হইল, তখন B, B অর্ধগোলক দুটিই A গোলকের বাহিরের পৃষ্ঠ হইয়া গেল। ফলে প্রমাণিত হয় যে আধান ভিতরে না থাকিয়া বাহিরের পৃষ্ঠে চলিয়া আসিল।

(c) দুইটি সমায়তনের ধাতব গোলক A ও B অন্তরক ষ্ট্যাণ্ডের উপরে রাখা আছে। গোলক দুটির একটি (A) ফাঁপা ও অন্যটি (B) নিরেট।

গোলক দুটিকে পরস্পর সংযুক্ত অবস্থায় রাখা হয়। একটি ধনাত্মক তড়িৎ-বাহী বস্তু A গোলকের কাছে আনা হয়। A-তে ঋণাত্মক ও B-তে সমপরিমাণ ধনাত্মক তড়িৎ আবিষ্ট হয়। এখন গোলক দুটিকে পৃথক করিয়া ফেলিলে উহারা সমপরিমাণ কিন্তু বিপরীত ধর্মী তড়িতে আহিত হইবে।



2·3

একটি অনাহিত তড়িৎ-বীক্ষণের চাকতির নিকটে A গোলককে ধরিয়া স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ লক্ষ্য করা হয়। পরে B গোলককে লইয়া অনুরূপ পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ সমপরিমাণ হইল।

তড়িৎ যদি কেবলমাত্র বাহিরে পৃষ্ঠে অবস্থান না করিয়া পরিবাহীর সর্বত্র সঞ্চারিত হইত, তবে B গোলকটি নিরেট হওয়ায় উহার পৃষ্ঠে তড়িতের পরিমাণ কম হইত ও স্বর্ণ-পত্রে বিস্ফারণ কম হইত।

তাহা হইলে প্রমাণ হয় যে পরিবাহী নিরেটই হউক আর ফাঁপাই হউক, উহাকে আহিত করিলে আধান বাহিরের পৃষ্ঠেই থাকে।

2.2. পরিবাহীর পৃষ্ঠে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব (Surface density of charge on a conductor) : পরিবাহীকে আহিত করিলে আধান উহার পৃষ্ঠে ছড়াইয়া পড়ে। পৃষ্ঠের কোন অঞ্চলে প্রতি একক ক্ষেত্রে

যে পরিমাণ আধান থাকে তাহাকে ঐ স্থানে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বলা হয়।

সংজ্ঞা : পরিবাহীর পৃষ্ঠে কোন বিন্দুতে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বলিতে ঐ বিন্দুর চারিপাশে একক ক্ষেত্রফলে অবস্থিত আধানের পরিমাণ বুঝায়।

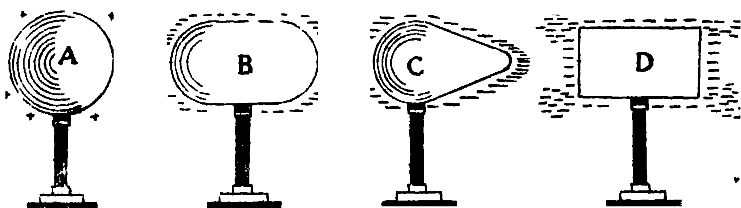
গোলকের ক্ষেত্রে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব আমরা সহজে হিসাব করিতে পারি। মনে কর কোন পরিবাহী গোলকের ব্যাসার্ধ r ; তাহা হইলে গোলকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল $=4\pi r^2$। এই গোলকে যদি Q পরিমাণ আধান দেওয়া যায়, তবে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $\sigma = \frac{Q}{4\pi r^2}$।

সুতরাং r যত বড় হইবে, σ ততই কমিয়া যাইতে থাকে। আবার কোন পৃষ্ঠের বক্রতাকে $\frac{1}{r}$ দ্বারা মাপা হয়, সুতরাং বক্রতা কমিলে σ কমে।

পরিবাহীর আকার যদি এমন হয় যে উহার বিভিন্ন স্থানে বক্রতা বিভিন্ন, তবে তলমাত্রিক ঘনত্বের অনুপাত উপরের সংকেত অনুসারেই স্থির হয়। যে স্থানে বক্রতা বেশী, সেখানে r কম, অতএব তলমাত্রিক ঘনত্ব বেশী। কোন সূচ্যগ্র বিন্দুতে $r=0$, কিংবা $\frac{1}{r}=\infty$ অতএব সেখানে তলমাত্রিক ঘনত্ব খুব বেশী।

2.3. পরিবাহীর পৃষ্ঠে আধানের পরিব্যাপ্তি (Distribution of charge on the surface a of conductor) :

পরীক্ষা : অন্তরিত ষ্ট্যাণ্ডের উপরে চারিটি ধাতব পরিবাহী রাখা আছে। উহাদের মধ্যে A একটি গোলক, B পরিবাহী চোঙের আকৃতি-বিশিষ্ট, তবে

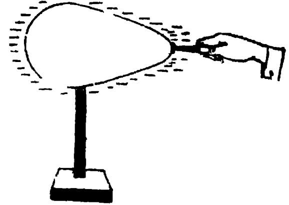


2·4 (a)

উহার দুই প্রান্ত গোলাকার, C পরিবাহী একটি শংকুর ন্যায় ও D পরিবাহী চতুষ্কোণ। ইহার প্রত্যেককে আহিত করা হইল।

একটি প্রুফ প্লেন ও একটি অনাহিত স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ-বীক্ষণ লওয়া হইল। প্রুফ প্লেনকে গোলকের যে কোন পৃষ্ঠে স্পর্শ করিলে উহা সেইস্থান হইতে আধান

আহরণ করিবে, (প্রকৃতপক্ষে সেই জায়গাটুকুতে প্রুফ প্লেনই পরিবাহীর উপরের পৃষ্ঠ হিসাবে কাজ করিবে ও সেই জায়গাটুকুর আধান প্রুফ-প্লেনে ঢুকিয়া পড়িবে)। তখন উহাকে স্বর্ণ-পত্র তড়িৎ বীক্ষণের কাছে লইয়া পরীক্ষা করা হইল। স্বর্ণ-পত্রের বিস্ফারণ প্রুফ প্লেনে আহিত তড়িতের উপর নির্ভর করিবে।



2·4 (b)

দেখা যায় যে প্রুফ প্লেনটি গোলকের পৃষ্ঠে যে কোন বিন্দুতেই স্পর্শ করা যাক না কেন, উহা স্বর্ণ-পত্রে সমান বিস্ফারণ দিবে, অর্থাৎ গোলকের পৃষ্ঠে সর্বত্র আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব সমান

অন্য পরিবাহীগুলির ক্ষেত্রে কিন্তু দেখা যায় যে পরিবাহীর পৃষ্ঠে যেখানে বক্রতা বেশী, সেই স্থানে প্রুফ প্লেন ঠেকাইয়া তড়িৎ-বীক্ষণের কাছে লইয়া গেলে বিস্ফারণ বেশী হইবে, আর যে স্থানে বক্রতা কম, সেস্থান হইতে তড়িৎ আহরণ করিলে তড়িৎ-বীক্ষণে কম বিস্ফারণ হইবে, অর্থাৎ বেশী বক্রতা-বিশিষ্ট স্থানে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব বেশী।

অতএব, **আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠে যেখানে বক্রতা বেশী, সেখানে তলমাত্রিক ঘনত্ব বেশী হয়।**

পূর্বে বলা হইয়াছে পরিবাহীর পৃষ্ঠে কোন সূচ্যগ্র বিন্দু থাকিলে সেখানে বক্রতা অত্যধিক, সেজন্য সেখানে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব খুব বেশী হয়।

2.4. তড়িৎ-মোক্ষণ (Electric Discharge) :

কোন আহিত পরিবাহীর পৃষ্ঠে যদি কোন সূচীমুখ থাকে তবে সেই বিন্দুর তলমাত্রিক ঘনত্ব অত্যধিক হয়। সেখানে স্বল্প পরিসরের মধ্যে সমশ্রেণীর অনেকটা আধান সঞ্চিত হয় বলিয়া তাহাদের পারস্পরিক বিকর্ষণের মাত্রা প্রবল হয়; ফলে এই বিন্দু হইতে আধান বাহির হইয়া যাইতে থাকে ও পরিবাহীর মোট আধানের পরিমাণ কমিয়া যাইতে থাকে।

বিন্দুতে তলমাত্রিক ঘনত্ব যদি খুব বেশী হয়, তবে আধানের ক্ষরণ খুব দ্রুত হয়, তখন তড়িৎ-মোক্ষণ (Electric Discharge) হইতেছে বলা হয়।

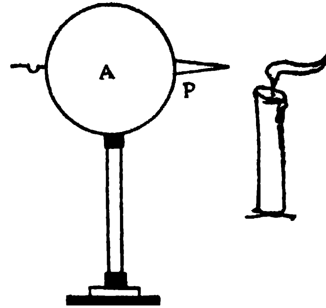
দুইটি সুন্দর পরীক্ষা দ্বারা সূচীমুখে আধানের নির্গমন দেখানো যায়।

(i) তড়িৎ-বাত্যা (Electric wind) :

একটি অন্তরিত পরিবাহী A-এর গায়ে একটি সূচীমুখ P লাগানো আছে।

একটি বিদ্যুৎ উৎপাদক যন্ত্রের সাহায্যে A-কে আহিত করা হইল। এখন P-এর কাছে একটি জলন্ত বাতির শিখা আনিলে দেখা যাইবে শিখাটি P হইতে উল্টাদিকে চলিয়া গিয়াছে।

P হইতে ক্ষরিত আধান অগ্নি-শিখার মধ্যে অবস্থিত বিভিন্ন গ্যাসীয় কণাকে আহিত করিতেছে, ফলে উহারা A পরিবাহীর সমশ্রেণীর আধান লাভ করিতেছে বলিয়া বিকর্ষিত হইতেছে।

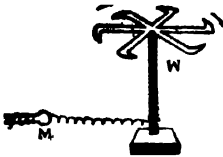


2·5 তড়িৎ বাত্যা

(ii) বৈদ্যুৎ ঘুর্ণী বা হ্যামিল্টনের চক্র (Electric Whirl বা Hamilton's Mill) ঃ

একটি ধাতব দণ্ডের মাথার উপরে একটি চক্র W বসানো আছে। এই চক্রের ছয়টি ধাতব বাহুর অগ্রভাগ সূচ্যগ্র ও একই দিকে বাঁকানো (চিত্র 2·6)।

ধাতব দণ্ডের সহিত কোন তড়িৎ-উৎপাদক যন্ত্রকে (M) যুক্ত করিলে উহাতে আধান সঞ্চারিত হয় ও চক্রের বাহুগুলির সূচীমুখে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব অত্যধিক হওয়ায় সেই পথে তড়িৎ-মোক্ষণ হইতে থাকে। ফলে উহাদের সংস্পর্শে যে বায়ুকণা আছে তাহারা সমজাতীয় তড়িতে আহিত হইয়া সূচীমুখ হইতে বিকর্ষিত হয় ও তাহার প্রতিক্রিয়ায় চক্রটি তীর চিহ্নিত পথে ঘুরিতে থাকে।



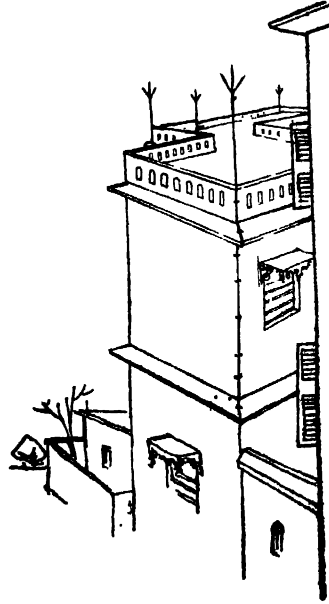
2·6 বৈদ্যুৎ ঘুর্ণী

বক্র স্থান হইতে তড়িৎ-মোক্ষণ হয় বলিয়াই কোন পরিবাহীতে সঞ্চারিত আধান অনেকক্ষণ ধরিয়া রাখিতে হইলে উহার পৃষ্ঠকে কোন স্থানে বেশী বক্রতা-বিশিষ্ট করিতে নাই। এ কাজে গোলকাকৃতি পরিবাহীই শ্রেষ্ঠ। বলাই বাহুল্য পরিবাহীকে অন্তরিত ষ্ট্যাণ্ডের উপর রাখিতে হইবে।

আহিত পরিবাহীর কাছে যদি কোন সূচ্যগ্র বিশিষ্ট অনাহিত পরিবাহী আনা হয়, এবং সূচ্যগ্রটি আহিত পরিবাহীর কাছে যায় তবে অনাহিত পরিবাহীর সূচ্যগ্র বিন্দুতে বিপরীত আধান আবিষ্ট হইয়া তড়িৎ-মোক্ষণ হইবে, ফলে আহিত পরিবাহীটির আধান কমিয়া যাইতে থাকিবে।

2.5. বজ্ররক্ষী দণ্ড (Lightning Arrestor) :

আধুনিক অট্টালিকায় প্রায়ই বজ্ররক্ষী দণ্ড সংযুক্ত থাকে। মাটির নীচে ভিজা মাটির মধ্যে একটি ধাতব পাত পুঁতিয়া উহার সহিত একটি ধাতব দণ্ড যুক্ত করা হয়। এই ধাতব দণ্ডকে বাড়ীর দেওয়াল বাহিয়া উঠাইয়া আনা হয় ও উহার অন্য প্রান্ত বাড়ীর উচ্চতম স্থান হইতেও উঁচুতে থাকে। এই প্রান্তে এক বা একাধিক সূচ্যগ্র মুখ থাকে।



2·7 বজ্ররক্ষী দণ্ডের ব্যবহার

মেঘের মধ্যে যে সমস্ত ক্ষুদ্র জলকণা থাকে তাহারা প্রায়ই আহিত থাকে। পরস্পর ঘর্ষণ, মহাজাগতিক রশ্মির (Cosmic ray) বা পৃথিবীর বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় (radioactive) পদার্থের ক্রিয়া ইত্যাদিই তাহার কারণ। বৃহত্তর কণাগুলি ধনাত্মক তড়িতে আহিত হয় ও নীচের দিকে থাকে, আর ক্ষুদ্রতর কণাগুলি ঋণাত্মক তড়িৎ বহন করে ও উপরে থাকে। এই দুই বিপরীত আধানের পরস্পর আকর্ষণ যখন অত্যন্ত প্রবল হয় তখন উহাদের মধ্যের অঞ্চলে গ্যাসীয় বা জলের কণাগুলি পরিবাহী হইয়া যায় ও এই দুই তড়িতের মিলনের পথ সৃষ্টি করিয়া দেয়। আবার আহিত মেঘ শূন্যে ভাসিয়া যাইবার সময়ে উহার নীচের সমস্ত বস্তুতে তড়িৎ আবিষ্ট করিতে থাকে। ভূপৃষ্ঠের কোন উচ্চ বস্তু, যেমন গাছ, অট্টালিকা, স্তম্ভ প্রভৃতি মেঘের নীচে পড়িলে তাহাতে যখন তড়িৎ আবিষ্ট হয় তখন এই আবিষ্ট তড়িৎ ও মেঘের মধ্যস্থ আবেশী তড়িৎ পরস্পরের কাছে আসে বলিয়া উহাদের মধ্যে প্রবল আকর্ষণ হয়। এই আকর্ষণী বল যদি অত্যধিক হয় তখন মেঘ ও বস্তুর মধ্যের বায়ুস্তর অপরিবাহী হইলেও ইহাকে ভেদ করিয়া এই আধান দুটি পরস্পরের কাছে যায় এবং পরস্পরের উদাসীনতা আনে। যে পথে এই আধান যায় সেই পথে প্রচণ্ড উত্তাপ ও চাপের সৃষ্টি হয় ও বায়ুকণাগুলি উজ্জ্বল হইয়া উঠে। ইহাকেই বিদ্যুৎ-স্ফুরণ বা বজ্রপাত বলা হয়। বজ্রপাতের সময়ে উহার পথে বায়ুর তাপ

অত্যন্ত বাড়িয়া যায় ও ফলে উহার সম্প্রসারণ হয়, কিন্তু পরমুহূর্তেই উহা আর তাপ পায় না বলিয়া ঠাণ্ডা হইয়া যায় ও উহার চাপ ভীষণ ভাবে কমিয়া যায়। তখন চারিপাশের বাতাস প্রবল বেগে ঐ স্থানে আসিতে থাকে ও বজ্রনাদ হয়। এই শব্দ মেঘের স্তরে স্তরে প্রতিধ্বনিত হয় বলিয়া দীর্ঘস্থায়ী হয়।

কোন বাড়ীর সহিত যদি বজ্ররক্ষী দণ্ড সংযুক্ত থাকে তবে উহার মধ্যে মেঘ যে তড়িৎ আবিষ্ট করে, দণ্ডের সূচীমুখে তাহার তলমানিক ঘনত্ব অত্যধিক হওয়ায় ঐ মুখ দিয়া বিপুল ভাবে বিদ্যুৎ-মোক্ষণ হইতে থাকে ও এই বিদ্যুৎ মেঘে আকৃষ্ট হইয়া উহাকে উদাসীন করিয়া তোলে। বিদ্যুৎ-স্ফুরণ হইলেও সেই বিদ্যুৎ পরিবাহী দণ্ডের ভিতর দিয়া সহজ পথ পায় বলিয়া সেই পথেই চলাচল করে, বাড়ীর কোন ক্ষতি হয় না।

আকাশে অত্যধিক মেঘের সঞ্চার হইলে এবং খুব নিকটে বজ্রপাত হইতে থাকিলে অনেক সময়ে দেখা যায় যে ল্যাম্পপোষ্টগুলির মাথা আলোকিত হইয়া উঠিতেছে। প্রবল ভাবে বিদ্যুৎ মোক্ষণ ও বাতাসের আয়নীকরণই (Ionisation) ইহার কারণ।

পথে চলিতে চলিতে যদি ঝড় বৃষ্টি ও বজ্রপাতের সম্মুখীন হও, তবে উপরের উদাহরণগুলির উপরে ভিত্তি করিয়া নিম্নলিখিত সতর্কতা অবলম্বন করা উচিত। বজ্রপাত বেশী হইলে ছাতা মাথায় দিয়া মাঠের মধ্যে হাঁটা ঠিক নয়, কারণ চারিপাশের বস্তুগুলি অপেক্ষা ছাতির অগ্রভাগ উঁচু হওয়ায় উহার উপরে বজ্রপাতের সম্ভাবনা বেশী। হাঁটা অপেক্ষা তখন মাঠে শুইয়া পড়া, এবং পারিলে কোন গর্তের মধ্যে উপুড় হইয়া শুইয়া পড়া নিরাপদ, কারণ দেহের মধ্যে পিঠই সর্বাপেক্ষা সমতল। কোন পত্রবহুল বিস্তৃত গাছের নীচ, যেমন বট বা অশ্বত্থ, সুউচ্চ গাছ যেমন তাল বা সুপারী অপেক্ষা নিরাপদ।

বজ্রপাত ও বজ্রনাদ একই সংগে হয়। কিন্তু শব্দ আলোক অপেক্ষা অনেক ধীরে চলে বলিয়া বজ্রনাদ আমরা বজ্রপাতের পরে শুনিতে পাই। কোন বজ্রনাদ শুনিয়া চমকাইয়া উঠিলেও উহাতে ভয় নাই, কারণ উহা যে বজ্রপাতের ফল তাহা আগেই হইয়া গিয়াছে। সে জন্যই একটি বিশ্রী রসিকতা চালু আছে, যে বজ্রপাতে কেহ মারা যায় তাহার আওয়াজ সে শোনে না।

বজ্রপাত নানারূপ ক্ষতির কারণ হইলেও ইহার উপকারের তুলনায় ক্ষতিকে সামান্যই বলা চলে। বজ্রপাতের ফলে বাতাসের নাইট্রোজেন গ্যাস অ্যামোনিয়া (Ammonia—NH_3) ও নাইট্রোজেনের বিভিন্ন অক্সাইডে রূপান্তরিত হয় এবং

বৃষ্টির ধারার সহিত মাটীতে পড়িয়া মাটীকে উর্বরা করিয়া তোলে। এই প্রাকৃতিক সারের উৎস আছে বলিয়াই পৃথিবীতে উদ্ভিদের সৃষ্টি সম্ভব হইয়াছে। তোমরা হয়তো সিন্ত্রীর সারের কারখানার কথা শুনিয়াছ। সমস্ত পৃথিবীতে যতগুলি সারের কারখানা আছে, তাহাদের বাৎসরিক উৎপাদনের পরিমাণ একমাত্র বজ্রপাতের ফলে যত সার উৎপন্ন হয় তাহার শতাংশ মাত্র।

26. আবেশী আধান ও আবিষ্ট আধানের পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation between Inducing & Induced charges) :

কোন পরিবাহীতে যখন তড়িৎ আবিষ্ট হয়, তখন আবেশী আধান যত কাছে আসিতে থাকে, আবেশের পরিমাণও তত বাড়ে ও ফলে আবিষ্ট আধানের পরিমাণও ততই বাড়িতে থাকে। তবে সাধারণতঃ সর্বক্ষেত্রেই আবিষ্ট আধানের পরিমাণ আবেশী আধান অপেক্ষা কম হয়। আবিষ্ট আধানের সর্বাধিক মান হইতে পারে আবেশী আধানের সমান। ফ্যারাডে একটা পরীক্ষার দ্বারা এই সত্যকে প্রতিষ্ঠিত করেন। তিনি দেখান যে—

(i) আবেশের ফলে পরস্পর সমান ও বিপরীত প্রকৃতির তড়িৎ আবিষ্ট হয়।

(ii) সাধারণতঃ আবিষ্ট আধান আবেশী আধান অপেক্ষা কম হয়, তবে

(iii) যে পরিবাহীতে আবেশ সৃষ্টি করা হইবে তাহার দ্বারা আবেশী আধানকে সম্পূর্ণ ঘিরিয়া ফেলিলে দেখা যায় আবেশী ও আবিষ্ট আধান পরস্পর সমান হয়।

* 27 দুইটি আধানের মধ্যে আকর্ষণ ও বিকর্ষণের নীতি : কুলঁ'র ব্যস্তানুপাতিক বর্গসূত্র (Attraction & repulsion between charges : Coulomb's Inverse square law) :

সমজাতীয় আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ করে ও বিপরীত জাতীয় আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে, ইহা তোমরা আগেই দেখিয়াছ। দুইটি আধানের মধ্যে আকর্ষণ ও বিকর্ষণী বলকে দুইটি সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়।

(i) দুইটি আধানের মধ্যে দূরত্ব নির্দিষ্ট থাকিলে উহাদের মধ্যে আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বল আধান দুটির পরিমাণের সমানুপাতী ; অর্থাৎ, আধান দুটির পরিমাণ যথাক্রমে Q ও Q' হইলে, উহাদের মধ্যে দূরত্ব d ও বল F হইলে,

* সিলেবাস বহির্ভূত। (এই অংশটুকু পড়িবার সময় চৌম্বক আকর্ষণ ও বলক্ষেত্রের সহিত তুলনামূলক আলোচনায় পাঠক বিশেষ উপকৃত হইবে।)

$F \propto Q' Q'$ (যদি d ধ্রুব থাকে)।

(ii) দুইটি নির্দিষ্ট আধানের মধ্যে আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বল উহাদের মধ্যের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

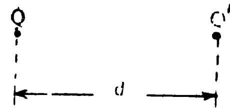
অর্থাৎ $F \propto \frac{1}{d^2}$, (যদি Q ও Q' ধ্রুব থাকে)।

দ্বিতীয় সূত্রকে কুলম্ব'র ব্যস্তানুপাতিক বর্গসূত্র বলে। সূত্র দুইটিকে একত্র করিলে, অর্থাৎ Q, Q' ও d এর পরিবর্তন হইলে,

$$F \propto \frac{QQ'}{d^2};$$

$$\text{কিংবা } F = \frac{1}{k} \cdot \frac{QQ'}{d^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

k একটি ধ্রুব সংখ্যা; ইহার মান আধান দুটির মধ্যে অবস্থিত মাধ্যমের উপর নির্ভর করে।



2·8

আধান দুটি বাতাসে বা শূন্যে থাকিলে, k = 1, অর্থাৎ এখন

$$F = \frac{QQ'}{d^2} \quad \ldots. \quad .. \quad \ldots. \quad .. \quad (ii)$$

কাচ, জল বা অন্য মাধ্যমের বেলায় k-এর মান 1 অপেক্ষা বেশী হয়। k-কে তড়িৎ-মাধ্যমাংক (Dielectric Constant) বলা হয়।

একটি কথা মনে রাখিও, Q Q'-এর উপরে যে পরিমাণ বল প্রয়োগ করে Q', Q এর উপর সেই পরিমাণ বল বিপরীত দিকে প্রযোগ করিবে, অর্থাৎ প্রত্যেকে প্রত্যেকের উপর F বল প্রয়োগ করে।

2.8. আধানের মাপের একক (Unit of measurement of electric charge) :

আমরা এতক্ষণ পর্যন্ত তড়িৎ সম্বন্ধে আলোচনা করিয়াছি, কিন্তু তড়িৎকে কোন এককে মাপিব, উহার এককের কি নাম দিব, কিছুই জানি নাই। প্রকৃতপক্ষে কেবল মাত্র যখন দুইটি আধানের মধ্যে বলের পরিমাণকে সূত্রের সাহায্যে নির্দেশ করা যায়, তখনই প্রথম আধানের পরিমাপ সম্বন্ধে স্পষ্ট ধারণা সম্ভব হয়।

(ii) নং সংকেতে দেখিয়াছি, দুইটি আধানের মধ্যে বল (বাতাস মাধ্যমে)

$$F = \frac{QQ'}{d^2}.$$

F-কে যদি আমরা ডাইনে ও d-কে সেমিতে প্রকাশ করি, তবে বলা যায় যে Q ও Q´ পরিমাণ দুইটি আধান পরস্পর হইতে d সেমি. দূরে থাকিলে পরস্পরের উপর F ডাইন বল প্রয়োগ করে।

এখন $Q=Q'$ হইলে, এবং F ও d, প্রত্যেক 1 হইলে, সংকেতটি দাঁড়ায় নীচের মত—

$$1=\frac{Q.Q'}{1}\text{।}$$

অতএব $Q=1$।

অর্থাৎ বলা যায়, যে পরিমাণ আধান বায়ুতে 1 সেমি. দূরে অবস্থিত সমপরিমাণ আধানের উপর 1 ডাইন বল প্রয়োগ করে, উহাই একক পরিমাণ আধান। এই একক পরিমাণ আধানকে **1 স্থির-বৈদ্যুতিক একক আধান** (**1 Electrostatic unit of charge**) বা 1 E. S. U. বলা হয়। বিভিন্ন বৈদ্যুতিক রাশির মাপের জন্য একক ধনাত্মক আধানকে মান (standard) বলিয়া ধরা হয়।

কুল (Coulomb)ঃ 1 E. S. U. আধান পরিমাণে এত ক্ষুদ্র যে ব্যবহারিক ক্ষেত্রে যে পরিমাণ আধান নিয়া নাডাচাডা করা হয় তাহা মাপিতে গেলে উহাকে আর ব্যবহার করা চলে না। যেমন ধর, হিসাব করিয়া দেখা গিয়াছে যে একটি 40 ওয়াট ক্ষমতার বৈদ্যুতিক বাতির ভিতর দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় $5{\cdot}2\times10^{8}$ E. S. U. আধান বহিয়া যায়। সেজন্য ব্যবহারিক ক্ষেত্রে বৈদ্যুতিক আধানের নূতন একক ব্যবহার করা হয়, ইহাকে বলে কুলঁ।

1 কুলঁ $=3\times10^{9}$ E. S. U. আধান।

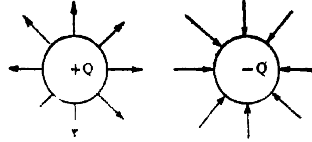
2.9. ইলেক্‌ট্রনের আধানের পরিমাণঃ

একটি ইলেক্‌ট্রনে যে তড়িৎ আধান আছে তাহার পরিমাণ $4{\cdot}77\times10^{-10}$ E. S. U.। এই আধান সামান্য হইলে কি হইবে, নিশ্চয় বুঝিয়াছ ইহাই পরমাণুর অস্তিত্ব সম্ভব করিয়াছে। কোন বস্তুতে 1 E. S. U. ধনাত্মক আধান আছে অর্থে বুঝিতে হইবে উহার মধ্যে প্রায় 2×10^{9} ইলেক্‌ট্রন বাড়তি রহিয়াছে।

একটি ইলেক্‌ট্রনে যে তড়িৎ রহিয়াছে তাহা ঋণাত্মক, একটি প্রোটনেও সমপরিমাণ অর্থাৎ $4{\cdot}77\times10^{-10}$ E.S.U. পরিমাণ ধনাত্মক আধান রহিয়াছে।

2.10. স্থির-বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্র ও বলরেখা (Electrostatic Field and Line of Force) :

কোন স্থানে একটি বৈদ্যুতিক আধান রাখিলে উহা নিজের কাছে আনীত অন্য যে কোন আধানের উপরে একটি আকর্ষণী বা বিকর্ষণী বল প্রয়োগ করে। আধানটির কাছাকাছি এই বল প্রবল ; আধান হইতে দূর গেলে, এই বল দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতে কমিয়া যাইতে থাকে।



2·9 বলরেখা

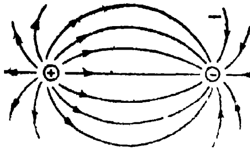
কোন আধানের চারিপাশে যে অঞ্চলে উহা অন্য কোন আধানের উপর বল প্রয়োগ করিতে পারে সেই অঞ্চলকে উহা স্থির-বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্র (Electric বা Electrostatic Field) বলা হয়।

বলক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক আধান আনিলে উহা যে বল অনুভব করে তাহাকে ঐ বিন্দুতে **বলক্ষেত্রের প্রাবল্য** (Intensity of field) বলা হয়।

স্বভাবতঃই Q আধান হইতে d দূরত্বে বাতাসে প্রাবল্য হইবে $\frac{Q}{d^2}$ ।

Q যদি ধনাত্মক হয় তবে প্রাবল্য বহির্মুখী হইবে, আর Q ঋণাত্মক হইলে প্রাবল্যের অভিমুখ অন্তর্মুখী হইবে (চিত্র 2·9)।

বলরেখা (Line of force) : বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্রকে কতকগুলি বলরেখা দ্বারা দেখানো হয়। বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্রের মধ্যে কোন মুক্ত ধনাত্মক আধান আনিলে উহা একটি বল অনুভব করিবে ও চলিতে থাকিবে ; তখন উহাকে যে পথে ভ্রমণ করে তাহাকেই বলরেখা বলে [চিত্র 2·10]।


2·10

চিত্র নং 2·9 ও 2·10 তে একটি ধনাত্মক আধান, একটি ঋণাত্মক আধান ও একজোড়া সমপরিমাণ কিন্তু বিপরীত আধানের জন্য বলক্ষেত্র ও বলরেখা কিরূপ হইবে দেখানো হইয়াছে।

বলক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে প্রাবল্যের অভিমুখ হইবে ঐ বিন্দুর মধ্য দিয়া গমনকারী বলরেখার সহিত স্পর্শক।

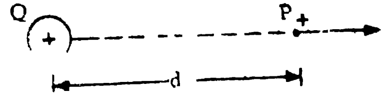
সুতরাং **বলরেখার সংজ্ঞা :** বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্রে মুক্ত ধনাত্মক আধানের

গতিপথকেই বলরেখা বলে। যে কোন বিন্দুতে উহার স্পর্শক সেই বিন্দুতে বলক্ষেত্রের প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করিবে।

প্রতি একক আধান হইতে 4πটি বলরেখা বাহির হইয়াছে কল্পনা করা হয়।

2.11. তড়িৎ-বিভব (Electrostatic Potential) :

কোন ধনাত্মক আধানের বলক্ষেত্রে একটি মুক্ত একক ধনাত্মক আধান রাখিলে উহা বিকর্ষণী বল অনুভব করে ও দূরে চলিয়া যাইতে থাকে (চিত্র 2.11)। একক আধানটি যত দূরে যায় ততই উহার উপরে বিকর্ষণী বল কমিতে থাকে (কুলম্ব সূত্র অনুসারে), কিন্তু কেবল মাত্র অসীমেই এই বল শূন্য হইতে পারে।



2.11

অতএব আমরা যদি অসীম হইতে কোন একক আধানকে আলোচ্য বলক্ষেত্রের P বিন্দুতে আনিতে চাই তবে বিকর্ষণী বলের বিরুদ্ধে আমাদের কার্য করিতে হইবে এবং শক্তি ব্যয়িত হইবে। আধানটিকে যখন P তে আনা হইল তখন ব্যয়িত শক্তি আধানের মধ্যে স্থিতিশক্তি (Potential Energy) হিসাবে সঞ্চিত হইল। এই সঞ্চিত স্থিতিশক্তিকে P বিন্দুতে আলোচ্য বলক্ষেত্রের তড়িৎ-বিভব (Electrostatic Potential) বলা হয়।

সংজ্ঞা : বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্রে কোন বিন্দুর তড়িৎ বিভব বলিতে অসীম হইতে একক ধনাত্মক আধানকে ঐ বিন্দুতে আনিবার জন্য ব্যয়িত শক্তিকে বুঝায়। এই শক্তি ঐ একক আধানে স্থিতিশক্তি হিসাবে সঞ্চিত থাকে।

তড়িৎ-বিভবের পরিমাণ : প্রমাণ করা যায় যে Q (ধনাত্মক) আধান হইতে d দূরত্বে তড়িৎ-বিভবের পরিমাণ

$$V = \frac{Q}{d}\ ।$$

চিত্র নং 2.11 হইতে তোমরা বিভিন্ন রাশিগুলির অর্থ বুঝিতে পারিবে।

তড়িৎ-বিভবের একক :

তড়িৎ-বিভব প্রকৃত পক্ষে স্থিতিশক্তি, অর্থাৎ কার্য। সুতরাং ইহাকে কার্যের এককে, অর্থাৎ আর্গ দ্বারা নির্দেশ করা যায়। তবে ইহাকে আর্গ নাম না

দিয়া একক স্থির-বৈদ্যুতিক বিভব (Unit Electrostatic Potential) বা 1 E. S. U. বিভব নাম দেওয়া হইয়াছে

কোন বলক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে অসীম হইতে একক ধনাত্মক আধান আনিতে যদি 1 আর্গ শক্তি ব্যয়িত হয়, তবে সেই বিন্দুর তড়িৎ-বিভবকে 1 E. S. U. বিভব বলে। কোন আধান হইতে অসীম দূরত্বে যেহেতু কোন বল নাই সুতরাং অসীম দূরত্বে এক বিন্দু হইতে আর এক বিন্দুতে একক আধানকে লইয়া যাইতে কোন কার্য ব্যয় হয় না, কারণ

বল $P=0$ হইলে

কার্য $P.d=0$ হইবে।

সেজন্য অসীমের বিভবকে শূন্য ধরিয়া লওয়া হয়। অসীমের পরিবর্তে ভুমিকেই সাধারণতঃ শূন্য বিভব স্থান বলিয়া গণ্য করা হয়।

ধনাত্মক আধানের বলক্ষেত্রে কোন মুক্ত ধনাত্মক আধান রাখিলে উহা বিকর্ষণের ফলে অসীমে চলিয়া যায়।

ঋণাত্মক আধানের বলক্ষেত্রে ব্যাপারটা কিরূপ হয়? ঋণাত্মক আধানের বলক্ষেত্রে ধনাত্মক আধান রাখিলে তাহা আকর্ষণী বল অনুভব করে। সুতরাং এই বলক্ষেত্রের কোন বিন্দুতে অসীম হইতে একক ধনাত্মক আধান আনিতে কোন শক্তি ব্যয়িত হয় না ও একক আধানের মধ্যে সঞ্চিত হয় না; উপরন্তু ঐ বিন্দু হইতে অসীমে একক ধনাত্মক আধানকে লইয়া গেলেই কার্য করিতে হয়।

সুতরাং অসীমের বিভব অপেক্ষা ধনাত্মক আধানের বলক্ষেত্রে যে কোন বিন্দুর বিভব বেশী, আর ঋণাত্মক আধানের বলক্ষেত্রে কোন বিন্দুর বিভব কম।

অসীমের বিভবকে শূন্য ধরিলে ধনাত্মক আধানের বলক্ষেত্রে যে কোন বিন্দুতে বিভব ধনাত্মক, আর ঋণাত্মক আধানের বলক্ষেত্রে বিভব ঋণাত্মক।

2.12. আধান উচ্চ হইতে নিম্ন বিভবের দিকে যায়ঃ

ধনাত্মক আধানের বলক্ষেত্রে অবস্থিত মুক্ত ধনাত্মক আধান অসীমে চলিয়া যায়, অর্থাৎ ধনাত্মক বিভব হইতে শূন্য বিভবের দিকে যায়।

ঋণাত্মক আধানের বলক্ষেত্রে মুক্ত ধনাত্মক আধান (আকর্ষণের জন্য) অসীম হইতে আধানের দিকে চলে, অর্থাৎ শূন্য বিভব হইতে ঋণাত্মক বিভবের দিকে যায়।

তাহা হইলে বলা যায় যে আধান (আধান বলিতে ধনাত্মক আধান বুঝায়) উচ্চ হইতে নিম্ন বিভবের দিকে যায়।

এই নীতির উপরে ভিত্তি করিয়াই বিদ্যুৎ-প্রবাহ সৃষ্টি করা হয়। বিদ্যুৎ-সরবরাহ ব্যবস্থায় জেনারেটর (Generator) বা ডায়নামোর (Dynamo) দুই প্রান্তে স্থায়ী বিভব-বৈষম্য (Potential Difference) সৃষ্টি করা হয়। এই দুই প্রান্তকে তার দ্বারা বৈদ্যুতিক বাতি, পাখা ইত্যাদির সহিত যুক্ত করিয়া দিলে আধান বাতি বা পাখার মধ্য দিয়া উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবের দিকে চলিতে থাকে। আধানের চলন অব্যাহত (continuous) রাখিলে বাতি জ্বলে বা পাখা চলে।

2.13. ভোল্ট্ (Volt): ভোল্ট্ কথাটি তোমরা শুনিয়াছ। বাড়িতে 230 ভোল্টে তড়িৎ-প্রবাহ সরবরাহ করা হয়, ইহা তোমরা সম্ভবতঃ জান। ভোল্ট্ তড়িৎ-বিভবের ব্যবহারিক একক। 1 ভোল্ট্ হইল 1 E. S. U. তড়িৎ-বিভবের $\frac{1}{300}$ ভাগ।

অসীম হইতে 1 কুলম্ব (অর্থাৎ 3×10^9 E. S. U.) আধানকে যে বিন্দুতে আনিতে 1 জুল (অর্থাৎ 10^7 আর্গ) কার্য ব্যয় করা হয়, সেই বিন্দুর তড়িৎ-বিভবকে 1 ভোল্ট্ বলা হয়।

বাড়িতে বিদ্যুৎ-বাহী তারের দুই প্রান্তের মধ্যে (অর্থাৎ পজিটিভ ও নেগেটিভ প্রান্তের মধ্যে) 230 ভোল্ট্ বিভব-বৈষম্য থাকে।

প্রশ্নমালা

1. আধান পরিবাহীর বাহিরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে—একটি পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

"Charge resides on the outer surface of a conductor"—explain with a suitable experiment. (Al. 1925)

2. বায়োর পরীক্ষা বর্ণনা কর। ইহা হইতে কি বুঝিতে পারা যায়?

Describe Biot's Experiment. What conclusion can be drawn from it? (cf. C. U. 1929)

3. 'পরিবাহীর পৃষ্ঠে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব" কাহাকে বলে? আধানের পৃষ্ঠে বক্রতার উপর ইহা কিরূপে নির্ভর করে?

What is "Surface Density of Electric charge on a conductor"? How does it depend on the curvature of the surface? (Pat. 1924)

4. পরীক্ষা দ্বারা আধানের পৃষ্ঠের বক্রতার সহিত আধানের তলমাত্রিক ঘনত্বের সম্বন্ধ কি ভাবে নির্ণয় করা যায়?

তোমার জানা কয়েকটি বিশেষ আকারের পরিবাহীর পৃষ্ঠে আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব কিরূপ হইবে চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

How can the relation between the surface density of charge and the curvature of the surface of a conductor be experimentally shown ?

Draw diagrams to explain distribution of charges on the surfaces of some conductors whose shapes are known to you. (Pat. 1929 ; Dac. 1943)

5. তড়িৎ মোক্ষণ কাহাকে বলে একটি দৃষ্টান্ত দ্বারা ব্যাখ্যা কর।

What is "Electric Discharge" ? Explain with the help of an example. (cf. C. U. 1926)

6. আহিত পরিবাহীতে আধান ধরিয়া রাখিতে হইলে উহার আকৃতি কিরূপ হওয়া উচিত ও কেন ? একটি আহিত পরিবাহীর নিকটে একটি সূক্ষ্মাগ্র বিশিষ্ট পরিবাহীর সূচীমুখ আনিলে কি হইবে বুঝাইয়া দাও।

What should be the shape of a conductor so that it can preserve charges and why ?

Explain what happens when an uncharged pointed conductor is brought near a charged conductor with its pointed end facing the charged conductor.

7. বিদ্যুৎ-চমক ও বজ্রপাত কি ? ইহাদের সৃষ্টি কিরূপে হয় ? বজ্ররক্ষী দণ্ডের ব্যবহার বর্ণনা কর।

What are Lightning Discharge and Thunder-stroke ? How are they produced ?

Describe the use of a Lightning Arrestor (cf. U. P. B. 1948 , Del. U. 1940)

8. দুইটি আধানের মধ্যে আকর্ষণ ও বিকর্ষণের সূত্র বর্ণনা কর।

1 কুলম্ব কি ?

State the laws of attraction and repulsion between two charges. (C. U. 1947, 51 ; U. P. B. 1941, 44)

What is 1 Coulomb ?

9. একক স্থির-বৈদ্যুতিক আধান কাহাকে বলে ? একটি ইলেকট্রনের আধানের পরিমাণ কত।

What is meant by 1 Electrostatic Unit of charge ? (U. P. B. 1944)

What is the amount of charge on an electron ?

10. ব্যাখ্যা কর— স্থির-বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্র, বলক্ষেত্রের প্রাবল্য, বলরেখা।

Explain—Electrostatic Field, Intensity of Field, Line of force.

11. তড়িৎ-বিভব কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও। ইহার একক কি ? তড়িৎ-বিভবের সহিত আধানের সরণের সম্বন্ধ কি ?

Explain what is meant by "Electrostatic Potential." What is its unit ? (C. U. 1926, 31, 50, 51 ; Pat. 1928 ; Bom, 1939)

How does the movement of a charge depend on the electrostatic potential ?

চল বিদ্যুৎ

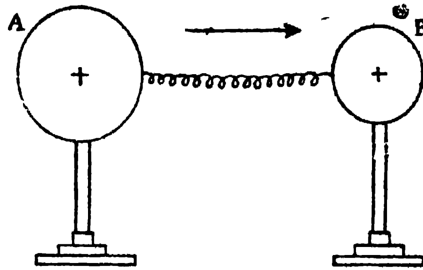
প্রথম পরিচ্ছেদ

তড়িৎ-প্রবাহ ও কোষ

(Electric Current & Cells)

1·1. তড়িৎ-প্রবাহের স্বরূপ (Nature of Electric Current) :

1.1. নং চিত্রে A ও B দুইটি আহিত গোলক দেখিতেছ। A গোলকের গায়ে একটি তামার তার যুক্ত রহিয়াছে। এখন কোন অপরিবাহী বস্তুর সাহায্যে তারটির অপর প্রান্ত ধরিয়া B-এর গায়ে স্পর্শ করিলে দেখা যাইবে যে স্পর্শের পূর্ব মুহূর্তে তার ও B-এর মধ্যে একটি তড়িৎ-স্ফুলিংগ সৃষ্টি হইল। তারের পথে কিছু তড়িৎ একটি গোলক হইতে অন্য গোলকে চলিয়া গেল। তারটি খুলিয়া লইয়া পুনরায় পরীক্ষাটি করিলে দেখা যায় আর তড়িৎ যাইতেছে না।

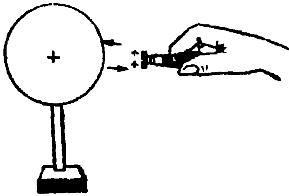


1·1

বিজ্ঞানের ভাষায় বলা হয় যে, A ও B-এর মধ্যে তড়িৎ-বিভবের পার্থক্য ছিল বলিয়া যে মুহূর্তে উভয় গোলকের সংযোগ স্থাপিত হইল, তৎক্ষণাৎ উচ্চতর বিভবের গোলক হইতে অন্য গোলকে তড়িৎ প্রবাহিত হইল। উভয়ের বিভব সমান হইয়া গেলে তড়িতের চলা বন্ধ হয়।

এমন কোন ব্যবস্থা যদি করা যায় যে গোলক-দুইটির মধ্যে স্থায়ী ভাবে একটি বিভব-বৈষম্য থাকে, তবে উভয় গোলকের মধ্যে পরিবাহী তার দ্বারা সংযোগ স্থাপিত হইলে একটি গোলক হইতে অন্য গোলকে তড়িতের গমন চলিতেই থাকে। কোন পথে তড়িতের এইরূপ অব্যাহত গমনকে **তড়িৎ-প্রবাহ** (**Electric Current**) বলা হয়।

12. বিভব কি (What is Electric Potenti.l)? মনে কর 1·2 নং চিত্রে প্রদর্শিত গোলকটির গায়ে কিছু ধনাত্মক তড়িৎ রহিয়াছে। একটি প্রুফ প্লেনে করিয়া যদি আরও খানিকটা ধনাত্মক আধান উহার গায়ে সঞ্চিত করিবার চেষ্টা করা যায়, তবে গোলকে যে আধান রহিয়াছে, তাহা প্রুফ প্লেনের আধানকে বিকর্ষণ করিবে। আমরা অবশ্য এই সামান্য বিকর্ষণী বলকে বুঝিতে পারিব না, কিন্তু ঐ আধানকে গোলকের গায়ে জমা দিতে গেলে এই বিকর্ষণী বলের বিরুদ্ধে আমাদের কিছুটা শক্তি ব্যয় করিতে হইবে। এই শক্তি স্থিতিশক্তি হিসাবে গোলকে জমা হইবে। গোলকের গায়ে যত বেশী আধান জমা করা যায়, উহার স্থিতিশক্তি ততই বাড়িতে থাকে। গোলকের গায়ে এক একক আধান জমা দিতে আমরা যে শক্তি ব্যয় করি ও যাহা গোলকে জমা হয়, সেই স্থিতিশক্তিকেই গোলকের **বিভব** বলা হয়। বিভবের ব্যবহারিক এককের নাম **ভোল্ট** (Volt)—তোমরা অনেকেই শুনিয়াছ।



1 2

গোলকের গায়ের ধনাত্মক আধানগুলি পরস্পরকে বিকর্ষণ করে, ফলে মুক্ত হইলে উহারা তৎক্ষণাৎ গোলককে ছাড়িয়া চলিয়া যায়।

1·1 নং চিত্রে A ও B গোলকে কিছুটা করিয়া ধনাত্মক আধান সঞ্চারিত করা হইয়াছিল। A গোলকের বিভব B হইতে বেশী হওয়ায় A গোলক নিজের উপরস্থ কোন আধানের উপর যে বিকর্ষণী বল প্রয়োগ করে তাহা B গোলক সমপরিমাণ আধানকে যে বল দেয় তাহার চেয়ে বেশী। কাজেই উভয়কে তার দ্বারা যুক্ত করিলে A হইতে B গোলকে আধান চলিতে থাকে। অর্থাৎ A গোলকের বিভব B গোলক হইতে বেশী হওয়ায় আধান উচ্চ বিভব-সম্পন্ন A হইতে নিম্ন বিভবের B-তে চলিতে থাকে। ফলে A গোলকের বিভব কমিতে থাকে ও B গোলকের বিভব বাড়িতে থাকে। অবশেষে যখন উভয় গোলকের মধ্যে বিভবের সমতা আসে, তখন তড়িতের চলন বন্ধ হয়। এমন কোন ব্যবস্থা যদি করা যায় যাহাতে A গোলক হইতে আধান যাইতে থাকিলেও উহার বিভব সর্বদাই B গোলক হইতে বেশী থাকে, তবে A হইতে B-তে তড়িতের গমন অব্যাহত থাকে।

অতএব দুইটি পরিবাহী পদার্থের মধ্যে স্থায়ী বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিয়া ও

উভয়ের মধ্যে পরিবাহীর সাহায্যে সংযোগ স্থাপন করিয়া বিদ্যুৎ-প্রবাহের সৃষ্টি করা যায়।

1.3. প্রবাহ-তড়িতের প্রয়োজন তোমরা হয়তো বলিতে পার, তড়িৎ প্রবাহিত করিবার এত খাটাখাটির সার্থকতা কি? তড়িৎ-বিভব মূলতঃ শক্তির রূপান্তর। সুতরাং বিভব-বৈষম্যের মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহের দ্বারা যে শক্তি মুক্ত হয় তাহাকে বিভিন্ন কাজে ব্যবহার করা যায়। এই শক্তি ব্যয়ে বৈদ্যুতিক আলো জ্বলে, পাখা ঘোরে, ট্রাম চলে; ইহার সাহায্যে রেডিওতে সংগীত সৃষ্টি হয়, সিনেমার পরদায় সবাক ছবি দেখানো হয়। শিল্পে এই শক্তির সাহায্যে বহু মূল্যবান ধাতু নিষ্কাশন করা হয়, তড়িৎ-চুম্বক সৃষ্টি করিয়া কারখানায় ব্যবহার করা হয়, বৈজ্ঞানিক গবেষণা ও পরীক্ষা হয়।

1.4. প্রবাহ তড়িতে ব্যবহৃত একক (Units used in connection with Current Electricity):

বিভব-বৈষম্যের একক: দুইটি বিন্দুর মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত করিতে গেলে উহাদের মধ্যে একটি স্থায়ী বিভব-বৈষম্য (Potential difference) রাখিতে হয় ও উহাদের কোন পরিবাহী দ্বারা যুক্ত করিতে হয়। এই বিভব-বৈষম্যকে **ভোল্ট** (Volt) নামক এককে প্রকাশ করা হয়। বাড়িতে যে বিদ্যুৎ সরবরাহ করা হয় তাহা 220-230 ভোল্টে। ইহার অর্থ, বিদ্যুৎ সংযোগের যে দুইটি তার থাকে, তাহাদের মধ্যে 220-230 ভোল্ট্ পরিমাণ বিভব-বৈষম্য থাকে।

তড়িৎ-প্রবাহের একক: তড়িৎ-প্রবাহকে অ্যাম্পিয়ার (Ampere) এককে প্রকাশ করা হয়। কোন বিন্দু দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে যদি 1 কুলম্ব (Coulomb) পরিমাণ আধান প্রবাহিত হয় তবে সেই বিন্দুতে তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণকে 1 অ্যাম্পিয়ার বলা হয়।

1.5. তড়িৎ-প্রবাহের ইলেকট্রন তত্ত্ব (Electron theory of current flow): তোমরা জান, কেন্দ্রীণের চারিপাশে কতকগুলি ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রন লইয়া যে কোন পরমাণু গঠিত। কেন্দ্রীণ হইতে বহুদূরের কক্ষপথে যে ইলেকট্রন ঘোরে তাহাদের উপরে কেন্দ্রীণের আকর্ষণ এত কম যে তাহারা প্রায় মুক্ত, এবং কোন উপায়ে সামান্য শক্তি লাভ করিলেই নিজের পরমাণু ছাড়িয়া এদিক ওদিক যাইতে পারে। তড়িৎ-প্রবাহ প্রকৃতপক্ষে ইলেকট্রনের প্রবাহ। বিভব-বৈষম্য যুক্ত দুইটি পরিবাহীর মধ্যে পরিবাহী পথে সংযোগ ঘটিলে বিভব-বৈষম্য ইলেকট্রনগুলিকে শক্তি যোগায় ও কিছু ইলেকট্রন নিম্নবিভবযুক্ত

পরিবাহী হইতে উচ্চ বিভবের দিকে যাইতে থাকে। ঋণাত্মক ইলেক্ট্রনের নিম্ন বিভব হইতে উচ্চ বিভবের দিকে প্রবাহকে ধনাত্মক তড়িতের উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবের দিকে প্রবাহ বলা হয়।

1.6. স্থায়ী বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিবার উপায় (Methods of establishing a constant potential difference) :

তোমরা বাড়িতে বা রাস্তায় বৈদ্যুতিক বাতি জ্বলিতে নিশ্চয় দেখিয়াছ। বৈদ্যুতিক বাতিটি একটি ধারক বা হোল্ডারে (Holder) আটকানো হয়। হোল্ডারের ভিতরে দুইটি ধাতব দণ্ড আছে, উহাদের চাপ দিলে স্প্রিং-এর মতো ভিতরে ঢুকিয়া যায়। এই দণ্ড দুইটি বিদ্যুৎ সরবরাহের দুইটি তারের সহিত যুক্ত থাকে। এই দুইটি তারের মধ্যে 220-230 ভোলট্ বিভব-বৈষম্য থাকে। চাবি বা সুইচ টিপিলে বাতিটি হোলডারের মারফত তার দুইটির সহিত যুক্ত হয় ও উহার মধ্যের পরিবাহী তার দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়, ফলে তার উত্তপ্ত হইয়া দীপ্তি দিতে থাকে। বিদ্যুৎ-সরবরাহকারী তার দুইটির বিভব-বৈষম্য যাহাতে স্থির থাকে সেইজন্য উহাদের অপর প্রান্ত বিদ্যুৎ-সরবরাহ কেন্দ্রে জেনারেটর নামক বিদ্যুৎ-উৎপাদক যন্ত্রের সহিত যুক্ত করা হয়। এই জেনারেটর যন্ত্রে স্থায়ী বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করা হয়।

গবেষণাগারে এত উচ্চ শক্তিসম্পন্ন বিদ্যুৎ-সরবরাহ লইয়া কাজ করা বিপজ্জনক। তাহাছাড়া এমন অনেক স্থান আছে যেখানে তড়িৎ-সরবরাহের ব্যবস্থা নাই। সেজন্য বিদ্যালয়ে বা গবেষণাগারে অনেক সময়েই তড়িৎ-কোষ নামক নিম্ন বিভবমাত্রার যন্ত্রের সাহায্যে চল-বিদ্যুৎ সম্বন্ধে অধিকাংশ পরীক্ষা করা হয়।

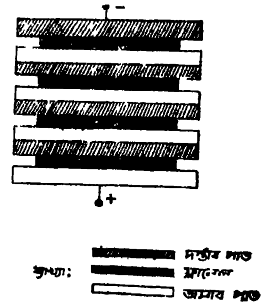
তড়িৎ-কোষ (Electric Cells)

1.7. গ্যালভানির পরীক্ষা (Galvani's Experiment) : 1786 সালে ইটালীর শারীর-বিদ্যার এক অধ্যাপক গ্যালভানি ব্যাঙ্ লইয়া কোন পরীক্ষা করিতেছিলেন। একটি ছাল ছাড়ানো ব্যাঙ্‌কে উপর হইতে পিতলের তার দ্বারা ঝুলাইয়া দেওয়া হইয়াছিল। পরীক্ষার সময়ে গ্যালভানি যতবার ব্যাঙের দেহকে একটি লোহার তার দ্বারা স্পর্শ করিতেছিলেন, প্রতিবারই উহার পেশী সংকুচিত হইতে দেখা গেল। গ্যালভানী ইহার নিম্নোক্ত ব্যাখ্যা দিলেন—মরা ব্যাঙের পেশীতে এক প্রকার তরল থাকে, তার দ্বারা পেশীর দুইপ্রান্ত সংযুক্ত করিলে ঐ তরলে প্রবাহ সৃষ্টি হয়, সেইজন্যই পেশীর সংকুচন হয়। গ্যালভানির ব্যাখ্যা

অবশ্য ছিল ভুল, কিন্তু তাহার আবিষ্কারই সেদিন চল-বিদ্যুতের জন্ম দিল। অবশ্য ইহার পর গ্যালভানিকে লোকে ব্যাঙ-নাচানো অধ্যাপক বলিতে লাগিল।

1.8. ভোল্‌টার ব্যাখ্যা (Explanation by Volta): ইটালীরই এক পদার্থবিদ্‌, ভোল্‌টা, 1800 খৃষ্টাব্দে গ্যালভানির পরীক্ষার ব্যাখ্যা দিলেন, এবং ঐ পরীক্ষার ফলকে কাজে লাগাইবার ব্যবস্থা করিলেন। তিনি বলিলেন প্রকৃত-পক্ষে ব্যাঙের পেশার মধ্যে গ্যাল্‌ভ্যানির ব্যাখ্যা মত বিশেষ কোন তরল থাকে না। দুইটি ধাতুর মধ্যে স্পর্শ ঘটিলে স্পর্শ-বিন্দুতে বিভব-বৈষম্যের সৃষ্টি হয়। এই বিভব-বৈষম্যই তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি করে। ব্যাঙের পেশী পরিবাহী বলিয়া উহার একপ্রান্তে পিতল ও অন্যপ্রান্তে লোহার তার লাগাইলে উহারা সোজাসুজি পরস্পর যুক্ত হইয়াছে বলা যায়, সেইজন্যই বিভব-বৈষম্য ও তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। ভোল্‌টার এই তথ্যের নাম হইল বিভবের স্পর্শবাদ (Contact Theory of Potential)। তিনি আরও দেখাইলেন যে দুইটি বিভিন্ন ধাতুকে কোন দ্রবণে ডুবাইলে ধাতু দুইটির মধ্যেও বিভব-বৈষম্যের সৃষ্টি হয়।

1.9. ভোল্‌টীয় স্তূপ (Voltaic Pile): ভোল্‌টা তাঁহার তথ্যকে কাজে লাগান ভোলটীয় স্তূপ নামক যন্ত্রে। এই যন্ত্রই তড়িৎ-কোষের প্রথম রূপ বলা যায়। তাঁহার যন্ত্রে তিনি কতকগুলি দস্তা ও তামার পাতকে পরপর বসাইয়া দিলেন ; প্রতি জোড় দস্তা ও তামার পাতের মধ্যে একটি করিয়া পাতলা সালফিউরিক এসিডে ভিজানো ফ্লানেল বা ব্লটিং কাগজের টুকরা রাখিয়া উহাদের পৃথক করা হইল। ফলে তাঁহার যন্ত্রে পাতগুলি এইভাবে থাকিল,—দস্তা, ফ্লানেল, তামা, দস্তা, ফ্লানেল, তামা, প্রভৃতি (চিত্র 1'3)।



1'3 ভোলটীস্তূ

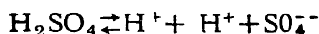
এই স্তূপের দুইপ্রান্তে বেশ খানিকটা বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করা গেল।

1.10. ইলেক্‌ট্রন তত্ত্বের সাহায্যে স্পর্শীয় বিভবের ব্যাখ্যা (Explanation of contact potential according to Electron theory):

ইলেক্‌ট্রন তত্ত্বের সাহায্যে স্পর্শীয় বিভব সৃষ্টির ব্যাখ্যা দেওয়া চলে। সালফিউরিক এসিড দ্রবণে দস্তা ডুবাইলে কি হয় তাহা দেখা যাক্‌। দস্তার

পরমাণুর সর্বাপেক্ষা বাহিরের কক্ষপথে দুইটি ইলেকট্রন থাকে। কেন্দ্রীণ হইতে এই কক্ষপথের দূরত্ব এত বেশী যে এই দুইটি ইলেক্‌ট্রনের উপরে কেন্দ্রীণের আকর্ষণ প্রায় থাকে না, এবং ইলেক্‌ট্রন দুইটি প্রায় মুক্ত থাকে। দস্তাকে যখন এসিডে ডুবানো হয়, তখন দস্তার কয়েকটি পরমাণু এসিডে দ্রবীভূত হয়, কিন্তু ইহারা প্রত্যেকে এই দুইটি ইলেক্‌ট্রনকে দস্তার পাতের মধ্যেই রাখিয়া আসে। কম-ইলেকট্রন-বিশিষ্ট এইরূপ পরমাণুকে আয়ণ (Ion) বলে। সাধারণ দস্তার পরমাণুকে আমরা Zn দ্বারা সূচিত করি, কিন্তু এই আয়ণকে Zn^{++} লেখা হয়, কারণ, ইহার দুইটি ইলেকট্রন ঘাটতি থাকায় ইহার মধ্যে দুইটি ইলেকট্রনের সম-পরিমাণ ধনাত্মক আধান থাকে। দস্তার আয়ণের এসিডে দ্রবীভবনের ফলে এসিড ধনাত্মক আধান-যুক্ত হইয়া যাইতে থাকে, কিন্তু বাড়তি ইলেকট্রন জমা হওয়ায় দস্তার দণ্ডটি ঋণাত্মক হইয়া যায়। নূতন দস্তার ধনাত্মক আয়ণ যখন এসিডে দ্রবীভূত হয়, তখন উহাকে ঋণাত্মক দস্তার দণ্ড আকর্ষণ করে ও ধনাত্মক এসিড বিকর্ষণ করে, ফলে ক্রমেই কম সংখ্যক দস্তার আয়ণ এসিডে দ্রবীভূত হয় ও অবশেষে উহা বন্ধ হয়। এই অবস্থায় ধনাত্মক এসিড ও ঋণাত্মক দস্তার দণ্ডের মধ্যে যে বিভব-বৈষম্য গড়িয়া ওঠে তাহার পরিমাণ 0·62 ভোল্ট। এসিড দস্তা হইতে ধনাত্মক হয়।

তামার দণ্ডকে এসিডে ডুবাইলে কিন্তু ব্যাপারটি অন্যরকম হয়। তামার আয়ণ এসিডে দ্রবীভূত হয় না। সালফিউরিক এসিডকে জলে গুলিলে উহার কতকগুলি অণু আয়ণিত হয়। এই আয়ণীভবনকে নীচের সমীকরণ দিয়া বুঝানো হয়।



$$H_2SO_4 \rightleftharpoons H^+ + H^+ + SO_4^{--}$$

অর্থাৎ, সালফিউরিক এসিড হাইড্রোজেন ও সালফেট মলক (radical) এই দুইটি অংশে ভাঙিয়া যায়। হাইড্রোজেন পরমাণু দুইটি নিজেদের একটি করিয়া ইলেকট্রন ত্যাগ করিয়া হাইড্রোজেন আয়ণে পরিণত হয়, আর সালফেট মলক ঐ দুইটি ইলেক্‌ট্রন গ্রহণ করিয়া সালফেট আয়ণে পরিণত হয়। তবে সালফিউরিক এসিডের এই ভাঙন কিন্তু বিযোজন নহে ; আমরা কোন সময়েই হাইড্রোজেন আয়ণ ও সালফেট আয়ণকে পৃথক করিয়া পাইব না, উহাদের একত্রে সালফিউরিক এসিড হিসাবেই পাইব।

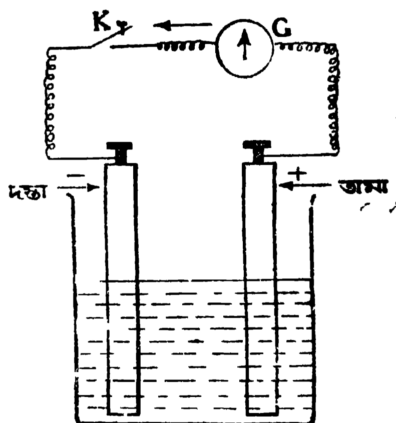
এখন, তামার দণ্ডটি এসিডে ডুবাইলে, হাইড্রোজেন আয়ণ উহার গায়ে গিয়া লাগে, এবং ফলে তামার দণ্ডটি ধনাত্মক আধানযুক্ত ও এসিড ঋণাত্মক হয় ফলে তামার দণ্ড এসিড অপেক্ষা উচ্চ বিভব-যুক্ত হয়। নূতন হাইড্রোজেন

আয়নের তামার দণ্ডে আগমনের পথে ধনাত্মক তামার দণ্ডের বিকর্ষণ ও ঋণাত্মক এসিডের আকর্ষণ বাধা সৃষ্টি করে। পরিশেষে এই বিভব যখন 0·46 ভোল্ট্ হয়, তখন নূতন হাইড্রোজেন আয়ণ আর তামার দণ্ডে আসিতে পারে না।

1.11. সরল ভোল্‌টীয় কোষ (Simple Voltaic Cell) :

গবেষণার কাজে অল্প পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি করিবার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাহাকে তড়িৎ-কোষ বলা হয়। বিভিন্ন রকমের তড়িৎ-কোষ আছে। তাহাদের মধ্যে সরল ভোলটীয় কোষ বা সরল কোষ সর্বাপেক্ষা প্রাচীন, এবং সহজে প্রস্তুত করা যায়। এই যন্ত্রের আবিষ্কর্তা ভোল্‌টা।

একটি কাচ বা মাটির পাত্রে জল-মিশ্রিত সালফিউরিক এসিড লইয়া তাহাতে একটি দস্তা ও একটি তামার পাত আংশিক ডুবাইলেই একটি সরল কোষ তৈয়ারী হয় (চিত্র নং 1·4)। ধাতুর পাত দুইটির মাথায় স্ক্রু আঁটা থাকে, যাহাতে ঐ স্ক্রুতে তার আঁটিয়া তড়িৎ-কোষকে কোন পরিবাহীর সহিত সংযুক্ত করা যায়।



1·4 সরল কোষ

ধাতুর পাতদুটিকে কোষের দুই **তড়িৎ-দ্বার** (Electrodes) বলা হয়। পাতদুটির মধ্যে যে বিভব-বৈষম্য থাকে তাহাকে মাপা হয় ভোল্‌ট নামক বিভবের এককে। এই বিভব-বৈষম্যের পরিমাণ 1·08 ভোল্‌ট। এই বিভব-বৈষম্যই তড়িৎ প্রবাহিত করে বলিয়া ইহাকে অনেকসময়েই কোষের **তড়িচ্চালক বল** (Electro-motive force বা সংক্ষেপে E. M. F.) বলা হয়। দস্তার পাতের হিসাবে তামার পাতটি ধনাত্মক বিভব-যুক্ত, আবার সেইরূপ তামার পাতের হিসাবে দস্তার পাত ঋণাত্মক। সেজন্য তামার পাতকে বলা হয় **ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বার বা অ্যানোড** (Anode), এবং দস্তার পাত হইল **ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বার বা ক্যাথোড** (Cathode)। সালফিউরিক এসিড দ্রবণকে বলা হয় **তড়িৎ-দ্রব** (Electrolyte)।

1·4 নং চিত্রে সরল কোষের সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টির পদ্ধতি

দেখানো হইয়াছে। K একটি চাবি এবং G, তড়িৎ-প্রবাহ মাপিবার জন্য গ্যালভানোমিটার নামে যন্ত্র কোষের সংগে তার দ্বারা যুক্ত। চাবি টিপিলেই তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি হইবে। তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ চিত্রে দেখিতে পাইবে।

সরল কোষে বিভব-বৈষম্য সৃষ্টির ব্যাখ্যা: সরল কোষের বিভব-বৈষম্য কেন হয় তাহা স্পর্শবাদের (Contact theory) সাহায্যে বুঝিতে পারা যায়। দুইটি বিভিন্ন ধাতুকে পরস্পরের গায়ে ঠেকাইলে, এমন কি একটি ধাতুকে কোন দ্রবণে ডুবাইলেও উভয়ের মধ্যে স্পর্শীয় বিভব-বৈষম্যের সৃষ্টি হয়। এই বিভব-বৈষম্যের কারণ আয়ণিত পরমাণু বা ইলেকট্রনের আদান-প্রদান।

সরল কোষে দস্তার দণ্ডটিকে যখন এসিডে ডুবানো হইল, তখন দস্তার কতকগুলি আয়ণ এসিডে দ্রবীভূত হয়।

যত Zn^{++} আয়ণ এসিডে দ্রবীভূত হইতে থাকে, এসিডটির ধনাত্মক আধান, এবং ফলে ধনাত্মক বিভব ততই বাড়িতে থাকে, আর দস্তার দণ্ড ক্রমেই ঋণাত্মক আধানে আহিত হইতে থাকে। এইভাবে দস্তা ও এসিডের বিভব-বৈষম্য যখন 0·62 ভোল্টে পৌঁছায় তখন এসিড দস্তা হইতে 0·62 ভোল্ট ধনাত্মক বিভবে থাকে। দস্তা ও এসিডের এই বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি হইলে তখন দস্তার আয়ণের দ্রবীভবন বন্ধ হইয়া যায়।

তামার পরমাণু এসিডে দ্রবীভূত হয় না, পরিবর্তে কিছু হাইড্রোজেন আয়ণ তামার দণ্ডে গিয়া উহাকে নিজেদের ধনাত্মক আধান দিয়া দেয়। ফলে তামার দণ্ড ধনাত্মক আধানে আহিত হয় ও এসিডে ঋণাত্মক হয় এবং উভয়ের মধ্য বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি হইতে থাকে অবশেষে তামার দণ্ড এসিডের হিসাবে 0·46 ভোল্ট ধনাত্মক বিভব লাভ করে। এই পরিমাণ বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি হইবার পরে নূতন হাইড্রোজেন আয়ণের তামার দণ্ডে আসা বন্ধ হইয়া যায়।

অতএব, সরল কোষে তামার দণ্ড এসিডের হিসাবে 0·46 ভোল্ট ধনাত্মক বিভবে অবস্থিত, এবং এসিড দস্তার দণ্ডের হিসাবে 0·62 ভোল্ট ধনাত্মক বিভব অবস্থিত, কাজেই, তামার দণ্ড দস্তার দণ্ড অপেক্ষা $0·46+0·62=1·08$ ভোল্ট ধনাত্মক। অর্থাৎ, সরল কোষের দুইটি তড়িদ্বারের বিভব-বৈষম্য = 1·03 ভোল্ট।

সরল কোষ যখন চলে, তখন তড়িদ্বারের বিভব-বৈষম্য কমিয়া যায়। বদ্ধ অবস্থায় কোষের তড়িদ্বারের বিভব-বৈষম্যকে বলা হয় তড়িচ্চালক বল (**Electromotive Force**)। রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় কোষের দুইপ্রান্তে মোট যে

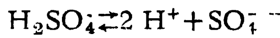
স্পর্শীয় বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি হয় তাহাকে তড়িচ্চালক বল বলা হয়। এই বিভব-বৈষম্য প্রকৃত পক্ষে শক্তি, কিন্তু ইহা তড়িৎ প্রবাহিত করে বলিয়া ইহাকে 'বল' বলা হয়।

সরল কোষের সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহের ব্যাখ্যা ঃ

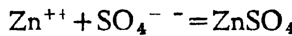
সরল কোষের তড়িদ্বার দুইটিকে 1·4 নং চিত্রের ন্যায় পরিবাহী দ্বারা সংযুক্ত করিলে দস্তার দণ্ড হইতে ইলেক্ট্রন গিয়া তামার দণ্ডের ধনাত্মক আধানকে প্রশমিত করিবার চেষ্টা করে। অর্থাৎ তামা হইতে দস্তার দিকে (ধনাত্মক) তড়িৎ-প্রবাহ হয়। এই তড়িৎ-প্রবাহের ফলে দস্তার দণ্ডের ঋণাত্মক আধান কমিয়া যায়, ফলে উহার ও এসিডের মধ্যের বিভব-বৈষম্য হ্রাসের উপক্রম হয়। তখন নূতন দস্তার আয়ণের এসিডে দ্রবীভূত হওয়া সহজ হয়, কারণ উহার উপরে এসিডের বিকর্ষণ বা দস্তার আকর্ষণ কমিয়া যায়। এই ভাবে নতন দস্তার আয়ণ এসিডে দ্রবীভূত হইয়া বিভব-বৈষম্য স্থির রাখে। তামার দণ্ডের কাছেও একই ভাবে বিভব-বৈষম্য হ্রাসের উপক্রম হওয়ায় নূতন নূতন হাইড্রোজেন আয়ণ তামার দণ্ডে সংযুক্ত হইয়া নিজেদের আধান উহাকে দেয় ও বিভব-বৈষম্য বজায় রাখে। ফলে তড়িদ্বার দুটির মধ্যে বিভব-বৈষম্য বজায় থাকে।

সরল কোষের সাহায্যে তড়িৎ-প্রবাহের শক্তির উৎস ঃ

সরল কোষে তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়াকে নীচের মত বুঝান হয়—



$$H_2SO_4 \rightleftharpoons 2H^+ + SO_4^{--}$$



$$Zn^{++} + SO_4^{--} = ZnSO_4$$

তড়িৎ প্রবাহ যত চলিতে থাকে ততই দস্তার পরমাণু এসিডে দ্রবীভূত হইতে থাকে, এবং জিংক সালফেটে পরিণত হইতে থাকে।

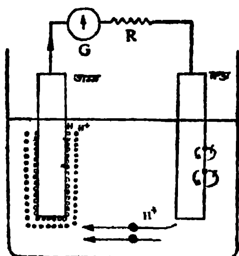
প্রতি গ্রাম দস্তা এসিডে দ্রবীভূত হইবার ফলে 1630 ক্যালরি পরিমাণ তাপশক্তি উদ্ভূত হয়। এই শক্তির কিছু অংশ তড়িৎ-শক্তি হিসাবে ব্যবহৃত হইয়াই সরল কোষে তড়িৎ-প্রবাহ সম্ভব হয়। বাকী অংশ তাপ হিসাবে ব্যয় হয়।

1.12. সরল কোষের ত্রুটি (Defects of a Simple Cell) ঃ

সরল কোষের ব্যবহারের পথে দুইটি ত্রুটি বিষম বাধার সৃষ্টি করে—(i) স্থানীয় (Local Action), ও (ii) ছদন (Polarisation)।

(i) স্থানীয় ক্রিয়া ঃ মনে কর সরল কোষে যে দস্তার দণ্ড আছে তাহাতে সামান্য একটু তামা মিশাইয়া দেওয়া হইল। তাহা হইলে সরল কোষের মধ্যে

দস্তার গায়েই একটি ছোট সরল কোষের সৃষ্টি হইবে। দস্তা, এসিড ও তামার খাদ মিলিয়া এই ছোট কোষের সৃষ্টি করিবে ও সেখানে তড়িৎ প্রবাহিত হইবে। সরল কোষের বাহিরের পরিবাহী তারটি খুলিয়া লইলেও এই ছোট কোষটি চালু থাকিবে, কারণ দস্তার দণ্ড নিজে এখানে পরিবাহী তারের মত কাজ করিবে। ইহার ফলে অযথা দস্তার পরমাণু এসিডে দ্রবীভূত হইতে থাকিবে, অথচ আমাদের কোন কাজে আসিবে না। তামা কেন, দস্তার মধ্যে যে কোন খাদ থাকিলেই এইরূপ স্থানীয় কোষের সৃষ্টি সম্ভব (চিত্র নং 1·5)।



সরল কোষে স্থানীয় ক্রিয়া ও ছদন

1·5

বিশুদ্ধ দস্তা খুব মূল্যবান। সরল কোষে সাধারণ যে দস্তা ব্যবহৃত হয়, তাহা বিশুদ্ধ হয় না, তাহাতে গন্ধক, আর্সেনিক, বিভিন্ন ধাতু, প্রভৃতির খাদ মিশানো থাকে। এই খাদগুলি দস্তা ও এসিডের সাহায্যে ছোট ছোট কোষের সৃষ্টি করে ও দস্তার নিকটে স্থানীয় তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। দস্তার দণ্ড নিজে পরিবাহী হিসাবে কাজ করে বলিয়া এই কোষগুলির কাজ সর্বদাই চলিতে থাকে, এমন কি সরল কোষ যখন ব্যবহার হয় না, তখনও ইহারা চালু থাকে। এইজন্য দস্তার দণ্ডের গায়ে সর্বদা, এমন কি কোষ চালু না থাকিলেও, বুদবুদ দেখা যায়। এইরূপ তড়িৎ-প্রবাহের ফলে অযথা দস্তার দণ্ডের ক্ষয় হয়, কিন্তু তাহার ফলে সৃষ্ট শক্তিকে ব্যবহার করা যায় না। দস্তার দণ্ডের গায়ে এইরূপ ছোট ছোট কোষের সৃষ্টি ও তাহার ফলে সবদা তড়িৎ-প্রবাহকে স্থানীয় ক্রিয়া বলে।

(ii) **ছদন** (**Polarisation**)ঃ সরল কোষ কিছুক্ষণ চলিবার পরে দেখা যায় উহার প্রবাহ কমিয়া আসিয়াছে। কোষের এই বিশেষত্বকে ছদন বলে। 1·5 নং চিত্রে দেখা যাইতেছে সরল কোষে তড়িৎ-প্রবাহের সময়ে দস্তার দণ্ড হইতে হাইড্রোজেন আয়ণ তামার দণ্ডের দিকে প্রবাহিত হইতেছে। এই হাইড্রোজেন আয়ণ তামার দণ্ডকে নিজেদের ধনাত্মক আধান দিয়া নিজেরা প্রশমিত হইবে, এবং দুইটি প্রশমিত হাইড্রোজেন পরমাণু মিলিয়া একটি হাইড্রোজেন অণুতে রূপান্তরিত হইয়া বুদবুদের আকারে বাহির হইয়া যাইবে। কিন্তু হাইড্রোজেন অণুরা সর্বদা বুদবুদ কাটিয়া বাহিরে যাইতে পারে না। অনেক সময়েই আধানের প্রশমনের পরে হাইড্রোজেন অণুগুলি তামার দণ্ডের গায়ে

আটকাইয়া থাকে। এইরূপে ক্রমে তামার দণ্ডের গায়ে হাইড্রোজন গ্যাসের একটি পর্দার (film) সৃষ্টি হয়। নূতন হাইড্রোজন আয়ণ যখন তামার দণ্ডের কাছে আসে তখন তাহারা তামার দণ্ডের গায়ে লাগিতে পারে না, এই পর্দার উপরে লাগিয়া যায়। হাইড্রোজেন গ্যাস নিজে অপরিবাহী, কাজেই আগন্তুক হাইড্রোজেন আয়ণ তামার দণ্ডকে নিজের আধান দিয়া প্রশমিত হইতে পারে না। ফলে হাইড্রোজেন গ্যাসের পর্দার উপরে ক্রমে একটি হাইড্রোজেন আয়ণের পর্দা গড়িয়া ওঠে। এখন যে সমস্ত হাইড্রোজেন আয়ণ আসে, তাহারা এই ধনাত্মক হাইড্রোজেন আয়ণের পর্দার দ্বারা বিকর্ষিত হয়। অবশেষে এই পর্দা এত পুরু হয় যে ইহার বিকর্ষণী বল নূতন হাইড্রোজেন আয়ণের আগমন একেবারেই বন্ধ করিয়া দেয়। ফলে তখন প্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়। এইভাবে ধনাত্মক তড়িদ্বারে হাইড্রোজন আয়নের সঞ্চারকে **ছদন** বলে।

সরল কোষের ত্রুটি দূরীকরণ (**Elimination of defects of a Simple Cell**) :

সরল কোষে কাজ চালাইতে গেলে উহা রুটি দুইটি দূর করিতে হয়।

(i) **স্থানীয় ক্রিয়া** : সরল কোষে যদি বিশুদ্ধ দস্তার দণ্ড ব্যবহার করা হইত তবে, উহাতে স্থানীয় ক্রিয়া হইত না। কিন্তু বিশুদ্ধ দস্তার দাম খুব বেশী। সেইজন্য একটি নূতন উপায়ে বিশুদ্ধ দস্তার সৃষ্টি করা হয়। সরল কোষে যে দস্তার দণ্ডকে ব্যবহার করা হয় তাহার গায়ে পারদ ঘষিয়া দেওয়া হয়। পারদে দস্তা দ্রবীভূত হইয়া সংকর সৃষ্টি করে, ইহাকে পারদ-সংকর (Mercury Amalgam) বলে। খাদগুলি কিন্তু পারদে দ্রবীভূত হয় না, উহারা পারদ-সংকরের নীচের স্তরে থাকিয়া যায়। ফলে এখন দস্তাকে ডুবাইলে শুধু পারদ-সংকর এসিডের সংস্পর্শে আসে ও দস্তা এসিডে দ্রবীভূত হইয়া কোষের কাজ চালু রাখে। পারদ এসিডে দ্রবীভূত হয় না, উহা দস্তার ভিতরে ঢুকিয়া পুনরায় পারদ-সংকরের সৃষ্টি করে। উপরের স্তরের দস্তার পরমাণুগুলি ক্ষয় হইয়া গিয়া পারদ যখন পরের দস্তার স্তরে পৌঁছায়, তখন উপরের স্তরের ঠিক নীচে যে খাদগুলি ছিল তাহারা আলগা হইয়া নীচে পড়িয়া যায়। সুতরাং স্থানীয় ক্রিয়া বন্ধ হয়।

(ii) **ছদন** : (ক) **যান্ত্রিক উপায়** (**Mechanical Means**) : সরল কোষ ব্যবহার করিতে করিতে মধ্যে মধ্যে তামার পাতটিকে তুলিয়া ব্রাশ দিয়া ঘষিয়া দিলে উহার উপরের হাইড্রোজেন গ্যাস এবং আয়ণের স্তরগুলি চলিয়া

যায়। তখন উহার দ্বারা কাজ সম্ভব হয়। স্বভাবতঃই বুঝিতে পার, এই উপায় খুব সুবিধাজনক নহে।

(খ) রাসায়নিক উপায় (Chemical Means) : সাধারণ ব্যবহার্য কোষে এই উপায়েই ছদন নিবারিত হয়। ইহার দুইটি পদ্ধতি।

(i) কোন রাসায়নিক উপায়ে যদি হাইড্রোজেন আয়ণ গ্যাসে রূপান্তরিত হইবার পরই তাহাকে জারিত (oxidise) করিয়া জলে পরিণত করা যায়, তবে আর ছদন হয় না।

(ii) আর একটি উপায় হইল, এমন কোন তড়িৎ-দ্রব ব্যবহার করা যাহার বিশ্লেষণে অপরিবাহী ও অদ্রবণীয় হাইড্রোজেন গ্যাসের পরিবর্তে অন্য কিছু সৃষ্টি হয়। যেমন ধরা যায়, আমরা কোষে সালফিউরিক এসিডের পরিবর্তে কপার সালফেট দ্রবণ ব্যবহার করিলে উহার বিশ্লেষণে তামার পরমাণু পাইব, যাহা পরিবাহী। এই উপায়ে ছদন নিবারণকে তড়িৎ-রাসায়নিক (Electro-chemical) উপায় বলে।

রাসায়নিক উপায়ে ছদন নিবারণের ব্যবস্থা করিলে সেই কোষ আর সরল কোষ থাকে না। ছদন নিবারণের বিভিন্ন রাসায়নিক উপায় ব্যবস্থা করিয়া বিভিন্ন ধরণের কোষ তৈয়ারী করা হইয়াছে।

1.13. বিভিন্ন ধরণের কোষ (Different Types of Cells) :

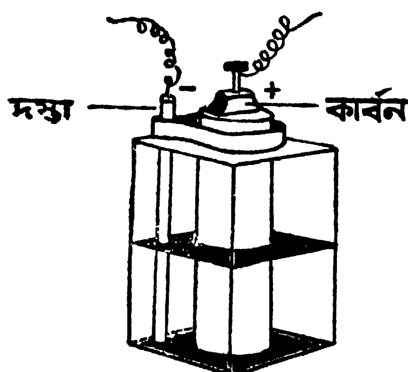
ছদন নিবারণের বিভিন্ন উপায় ব্যবহার করিয়া বিভিন্ন ধরণের কোষ তৈয়ারী করা হয়।

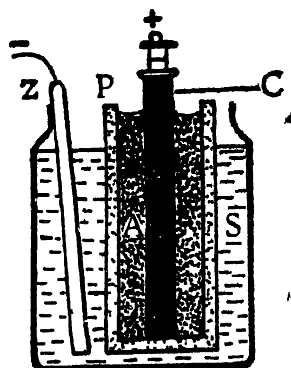
A. এক তরল-বিশিষ্ট কোষ (One-Fluid Cell) : এই প্রকারের কোষে ছদন নিবারণের জন্য কোন কঠিন যৌগ ব্যবহার করা হয়। লেক্লান্সের কোষ (Leclanché Cell) ইহার উদাহারণ।

(i) লেক্লান্সে কোষ (Leclanché Cell) : এই কোষে একটি কাচের পাত্র ও একটি সছিদ্র পোর্সিলেনের পাত্র ব্যবহৃত হয়। ইহার দুইটি তড়িৎ-দ্বার থাকে—পারদ-মাখা দস্তার দণ্ড ও শুদ্ধ কার্বনের তৈয়ারী চ্যাপ্টা পাতের আকার-বিশিষ্ট একটি দণ্ড। দস্তার দণ্ড ঋণাত্মক ও কার্বনের দণ্ড ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বার হিসাবে কাজ করে। ঘন অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড (Ammonium Chloride) দ্রবণকে ইহাতে তড়িৎ-দ্রব হিসাবে ব্যবহার করা হয় (চিত্র 1·6)।

গঠন : কাচের পাত্রের মধ্যে পোর্সিলেনের পাত্রটি খাড়া করিয়া বসানো থাকে। পোর্সিলেনের পাত্রের মধ্যে কার্বনের ধনাত্মক তড়িদ্দ্বারটি থাকে। ম্যাংগানীজ ডাই-অক্সাইডের (Manganese Dioxide) গুঁড়া ও গ্রাফাইটের

(Graphite)-এর গুঁড়া একত্র মিশাইয়া ও জলে ভিজাইয়া মণ্ডের মত করিয়া তাহার দ্বারা কার্বন দণ্ড ও পোর্সিলেনের পা'ত্রর মধ্যের ফাঁক ঠাসিয়া ভরিয়া দেওয়া হয়। পাত্রের মুখটি পিচ্ বা আলকাতরা দিয়া বন্ধ থাকে, ও তাহার মধ্যে একটি ছিদ্র করিয়া গ্যাস বাহির হইবার পথ রাখা হয়। কাচের পাত্রে





1) লেকলান্সে কোষ

ঘন অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ ভরা হয় ও তাহার মধ্যে দস্তার দণ্ডটি খাড়া করিয়া বসানো থাকে সাধারণতঃ কার্বনের ও দস্তার দণ্ডের মাথায় একটি করিয়া স্ক্রু লাগানো থাকে, যাহার সহিত তার ইত্যাদি যুক্ত করা যায়।

কার্যনীতি ঃ কোন পরিবাহী তার দিয়া কার্বন ও দস্তার দণ্ডকে যুক্ত করিলে কার্বন হইতে দস্তার দিকে পরিবাহী তার দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয়।

লেকলান্সে কোষে তড়িৎ-দ্রবের বিশ্লেষণে হাইড্রোজেন আয়ণের বদলে অ্যামোনিয়াম (Ammonium)—NH_4^+ আয়ণ সৃষ্টি হয়।



$$NH_4Cl \rightleftarrows NH_4^+ + Cl^-$$ ।

দ্রবীভূত দস্তার আয়ণ ক্লোরাইড আয়ণের সহিত ক্রিয়া করে।



$$Zn^{++} + 2Cl^- = ZnCl_2$$ ।

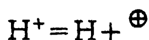
NH_4^+ আয়ণ পোর্সিলেনের পাত্রের ছিদ্র দিয়া ধনাত্মক তড়িৎ দ্বারে চলিয়া যায় ও দুই ভাবে কাজ করে।



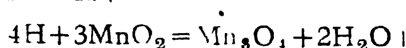
$$NH_4^+ \rightleftarrows NH_3 + H^+$$

H_+ আয়ণ কার্বন দণ্ডকে (অথবা মণ্ডের কার্বনের গুঁড়াকে) নিজের আধান

দিয়া প্রশমিত হয় ও ম্যাংগানীজ ডাই-অক্সাইড দ্বারা জারিত হইয়া জলে পরিণত হয়।



$$H^+ = H + \oplus$$



$$4H + 3MnO_2 = Mn_3O_4 + 2H_2O$$ ।

ছদন নিবারণ : এই কোষে ম্যাংগানীজ ডাই-অক্সাইড ছদন নিবারক হিসাবে কাজ করিয়া হাইড্রোজেনকে জলে পরিণত করে ও কার্বন দণ্ডের গায়ে হাইড্রোজেন গ্যাস জমিতে দেয় না।

ম্যাংগানীজ ডাই-অক্সাইড অদ্রাব্য বলিয়া ইহার রাসায়নিক ক্রিয়া ধীরে হয়, সেইজন্য এই কোষে ছদন-নিবারণ ধীরে ধীরে হয়। তাহা ছাড়া ইহা অপরিবাহী বলিয়া আয়ণের গমনে বাধা দেয়। সেই বাধা দূর করিবার জন্য ইহার সহিত পরিবাহী কার্বনের গুঁড়া মিশাইয়া লওয়া হয়।

স্থানীয় ক্রিয়া নিবারণ : দস্তার মধ্যে পারা মাখানো হয় বলিয়া ইহাতে স্থানীয় ক্রিয়া হয় না।

লেক্‌লান্সে কোষের ব্যবহার : লেক্‌ল্যান্সে কোষে কঠিন ছদন-নিবারক ব্যবহৃত হয় বলিয়া উহার রাসায়নিক ক্রিয়া ধীর। সেজন্য ইহার ছদন নিবারণ ধীরে হয়। কাজেই বেশ কিছুক্ষণ তড়িৎ প্রবাহিত হইবার পর যতগুলি হাইড্রোজেন আয়ণ মুক্ত হয় তাহাদের সবগুলিকে ম্যাংগানীজ ডাই-অক্সাইড জলে পরিণত করিতে পারে না। ফলে ক্রমে কিছু হাইড্রোজেন গ্যাস ও হাইড্রোজেন আয়ণ ধনাত্মক কার্বন দণ্ডের গায়ে জমা হয় ও ছদন সৃষ্টি হয়। তড়িৎ-প্রবাহ যদি কিছুক্ষণ বন্ধ রাখা যায় তবে এই হাইড্রোজেন আয়ণ ও অণুগুলি সরিয়া গিয়া কোষ আবার সজীব হইয়া ওঠে।

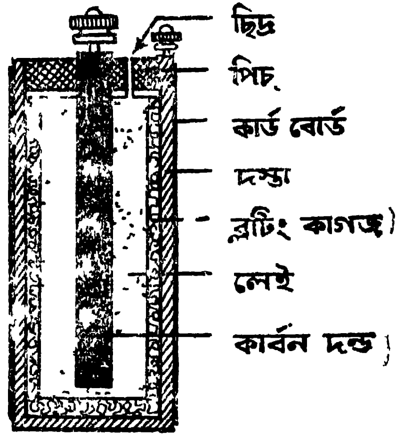
এই জন্যই লেক্‌লান্সে কোষকে অনেকক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ যেখানে দরকার সেখানে ব্যবহার করা যায় না। টেলিফোন, বীক্ষণাগারের মিটার ব্রীজ-পরীক্ষার ন্যায় যে সমস্ত কাজে অল্পক্ষণের জন্য তড়িৎ-প্রবাহ চলিয়া আবার খানিকক্ষণ কোষটি বিশ্রাম পায় সেখানে এই কোষ ব্যবহার করা সুবিধাজনক।

কোষ ব্যবহার হইতে হইতে দস্তার দণ্ড ক্ষয় হইয়া যায় ও অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ বিযোজিত হইয়া তাহার ঘনত্ব কমিয়া যাইতে থাকে। দস্তার দণ্ড ও অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ পাল্‌টাইয়া দিলেই আবার এই কোষ নূতনের ন্যায় কাজ করে।

এই কোষের তড়িৎ-চালক বল 1·47 ভোল্ট্‌।

(ii) **নির্জল কোষ** (Dry Cell) : টর্চলাইট বা বেতার যন্ত্রে ব্যবহৃত নির্জল কোষ লেক্‌লান্সে কোষেরই রূপান্তর।

এই কোষের খোল দস্তার পাতে তৈয়ারী হয় ও উহাই কোষের ঋণাত্মক তড়িৎদ্বারের কাজ করে। এই খোলের উপরে অবশ্য কাগজ দিয়া উহাকে ঢাকিয়া দেওয়া হয়। একটি ব্লটিং কাগজ বা কাপড়ের থলির মধ্যে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড, ময়দা, ম্যাংগানীজ ডাই-অক্সাইড, কাঠ কয়লার গুঁড়া জলের সাহায্যে লেই-এর মত করিয়া মাখিয়া ভরিয়া দেওয়া হয় এবং সেই থলিটা খোলের মধ্যে বসানো হয়। কাপড়ের বা কাগজের থলি সচ্ছিদ্র পাত্রের কাজ করে।



17 নির্জল কোষ

এই লেই এর মধ্যে কার্বনের ধনাত্মক তড়িৎদ্বার বসানো হয়। খোলের মুখ আলকাতরা বা পিচ ও কাঠের গুঁড়া দিয়া বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়, তবে অ্যামোনিয়া গ্যাস বাহির হইবার জন্য মুখে একটি ছিদ্র রাখা হয়।

বলাই বাহুল্য, এই কোষ সম্পূর্ণ নির্জল নয় লেই-এর জল না থাকিলে উহা কাজ করিত না।

ইহার রাসায়নিক প্রক্রিয়া লেকলান্স কোষের অনুরূপ এবং তড়িৎ-চালক বল 1·47 ভোল্ট্।

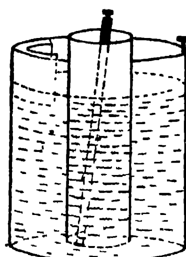
B. **দুই তরল-বিশিষ্ট কোষ** (Two-Fluid Cell) :

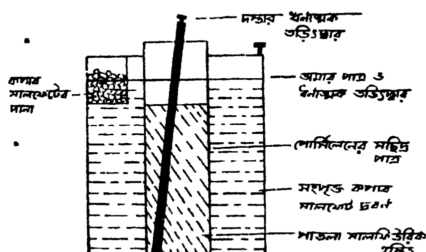
(i) **ডানিয়েল কোষ** (Daniell's Cell) :

এই কোষে ছদন নিবারণের সুবিধার জন্য তড়িৎ-দ্রব ছাড়াও আর একটি তরল ব্যবহৃত হয়। মোট দুই প্রকারের তরল ব্যবহৃত হয় বলিয়া ইহাকে দুই তরল-বিশিষ্ট কোষ বলা হয়।

একটি তামার পাত্রে সংপৃক্ত কপার সালফেট দ্রবণ লওয়া হয়। তামার পাত্র নিজে ধনাত্মক তড়িৎ দ্বার হিসাবে কাজ করে, এবং কপার সালফেট রাসায়নিক

ছদন নিবারক। তামার পাত্রের উপর দিকে একটি বা দুইটি সছিদ্র তামার কৌটা (shelf) আটকানো থাকে ও ইহার মধ্যে কপার সালফেটের দানা লওয়া



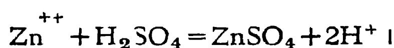


1·8 (a) ডানিয়েল কোষ 1·8 (b)

হয়। এই কৌটার তলদেশ পাত্রের কপার সালফেট দ্রবণে ডুবিয়া থাকে বলিয়া দ্রবণটি সর্বদাই সংপৃক্ত থাকে। তামার পাত্রের মধ্যে একটি সছিদ্র পোর্সিলেনের পাত্র বসানো থাকে। এই পাত্রে পাতলা সালফিউরিক এসিড লইয়া তাহার মধ্যে একটি পারদ-মাখানো দস্তার দণ্ড আংশিক ডুবাইয়া রাখা হয়। এই দস্তার দণ্ডটি ঋণাত্মক তড়িৎদ্বার। সালফিউরিক এসিড তড়িৎ-দ্রবের কাজ করে।

কার্যনীতি ঃ

দস্তার ধনাত্মক আয়ণ সালফিউরিক এসিডে দ্রবীভূত হইয়া দস্তার দণ্ড ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হয় ও এসিডের মধ্যে কিছু হাইড্রোজেন আয়ণ সঞ্চিত হয়।



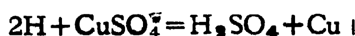
$$Zn^{++} + H_2SO_4 = ZnSO_4 + 2H^+ \text{ ।}$$

কোষের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বার তার দ্বারা যুক্ত করিলে হাইড্রোজেন আয়ণ পোর্সিলেন পাত্রের ছিদ্রের মধ্য দিয়া তামার পাত্রে পৌঁছায় ও তামার পাত্রের ভিতরের দেওয়ালকে ধনাত্মক আধান দিয়া নিজে পরমাণুতে পরিণত হয়।



$$H^+ = H + \oplus$$

এই হাইড্রোজেন পরমাণু কপার সালফেট দ্রবণের সহিত ক্রিয়া করিয়া তামার পরমাণু সৃষ্টি করে ও এই তামার পরমাণু তামার পাত্রের গায়ে জমা হয়।



$$2H + CuSO_4^{=} = H_2SO_4 + Cu \text{ ।}$$

তামার পাত্রের গায়ে অপরিবাহী হাইড্রোজেনের পরিবর্তে পরিবাহী তামা জমে বলিয়া এই কোষে ছদন হয় না।

পারদ-মাখানো দস্তার দণ্ডে স্থানীয় ক্রিয়া নিবারিত হয়।

কাজ চলিতে চলিতে দস্তার দণ্ড ও পোর্সিলেন পাত্রের ভিতরের এসিডের ক্ষয় হয় ও বাহিরের পাত্রে এসিড সঞ্চিত হয়। সমস্ত বস্তু নূতন করিয়া ভরিয়া ফেলিলে আবার এই কোষ ব্যবহার করা চলে।

এই কোষের তড়িচ্চালক বল 1·08 ভোল্ট। ছদন-নিবারণ দ্রুত গতিতে হয় বলিয়া এই কোষ অনেকক্ষণ ধরিয়া ব্যবহার করা চলে।

C. **গৌণ কোষ** (Secondary Cells) **বা সঞ্চয়ক কোষ** (Accumulators) : আগে যে সমস্ত কোষের বর্ণনা দেওয়া হইল তাহাতে বিভিন্ন রাসায়নিক ক্রিয়া হইবার পরে ঐ সমস্ত পদার্থ কোষের পক্ষে অব্যবহার্য হইয়া পড়ে, উহাদের ফেলিয়া দিতে হয়। এই ধরণের কোষকে প্রাথমিক কোষ (Primary Cells) বলা হয়।

গবেষণাগারের কাজে বা ব্যবহারিক জীবনে আর এক ধরণের কোষের প্রচুর ব্যবহার হয়। এই কোষেও রাসায়নিক ক্রিয়ার সাহায্যে তড়িৎ-শক্তি সৃষ্টি হয়। তবে ইহাদের বিশেষত্ব এই যে, কোষের ক্ষয় হইয়া যাইবাব পরে বাহির হইতে কোষের ভিতরে উল্টা দিকে তড়িৎ-প্রবাহ চালাইলে দেখা যায় যে কোষের ভিতরের বিশ্লিষ্ট রাসায়নিক পদার্থগুলি বিপরীত রাসায়নিক ক্রিয়া করিয়া পুনরায় পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসে ও কোষ আবাব সজীব হইয়া ওঠে। ফলে একবার রাসায়নিক পদার্থ ভরিয়া বারে বারে বাহিরের তড়িৎ-প্রবাহের সাহায্যে ঐ পদার্থকে বিপরীত মুখে বিশ্লিষ্ট করাইয়া এই কোষকে অনেকদিন ব্যবহার করা চলে। অর্থাৎ বাহির হইতে তড়িৎ-শক্তি জমা রাখিয়া এই কোষকে ব্যবহার করা চলে। সেইজন্য এই কোষকে গৌণ কোষ বা সঞ্চয়ক কোষ বলে।

মোটর গাড়ীতে এই সঞ্চয়ক কোষ তোমরা দেখিয়া থাকিবে।

1.14. **লুইগি গ্যালভানি** (**Luigi Galvani**)—(1737—1798)। এই ইটালীয় শরীরতত্ত্ববিদ পাখীর দেহ-তত্ত্ব সম্বন্ধে গবেষণা করিতেন। বিশ বৎসর ব্যাঙের পেশীর উপরে তড়িতের প্রভাব সম্বন্ধে পরীক্ষা করিয়া 1791 সালে তিনি জৈব-তড়িৎ সম্বন্ধে মত প্রকাশ করেন। তাঁহার মতে দুইটি বিভিন্ন ধাতু দিয়া ব্যাঙের পেশার সংকুচনের কারণ পেশীর ভিতরের ঋণাত্মক তড়িৎ ও বাহিরের ধনাত্মক তড়িতের মিলন।

প্রশ্নমালা

1. তড়িৎ প্রবাহ কাহাকে বলে ?
ভোল্টার পরীক্ষার বর্ণনা কর ও ইহার ব্যাখ্যা দাও।
What is meant by 'Electric current' ?
Describe Volta's experiment and explain it.

2. একটি সরল ভোল্টীয় কোষের গঠন বর্ণনা কর। স্থানীয় ক্রিয়া ও ছদন কিভাবে বুঝিতে পারা যায়। ইহাদের সৃষ্টি কিভাবে হয় বুঝাইয়া দাও।

Describe the construction of a simple Voltaic cell. How can you observe the existence of local action and polarisation ? Explain why they occur. (C U. 1923, 57 ; Pat. 1930, 32, 38)

3. লেক্ল্যান্সে কোষের গঠন ও কার্যনীতি বর্ণনা কর। এই কোষে সরল কোষের ত্রুটি কিভাবে নিবারিত হয় ?

Describe a Leclanche' cell and explain its action. How are the defects of a simple cell avoided in this cell ?
(C. U. 1924, 31)

4. ড্যানিয়েল কোষের গঠন ও কার্যনীতি বর্ণনা কর। এই কোষে কিভাবে ছদন নিবারিত হয় ?

Describe the construction and action of a Daniel cell. How is polarisation avoided in this cell ? (C.U. 1921, 26, 28, 30, 41, 46, 48, 53 ; Pat. 1927, 38 ; cf. Pat. 1921 ; Dac. 1934)

5. তোমাকে একটি লেক্লান্সে ও ড্যানিয়েল কোষ দেওয়া হইয়াছে। ক্ষণস্থায়ী ও স্থায়ী তড়িৎ-প্রবাহ প্রয়োজন এমন দুইটি বর্তনীতে ইহাদের ব্যবহার করিতে হইবে। কোন্ কোষ কি কাজে ব্যবহার করিবে কারণ বুঝাইয়া বল।

You are given a Leclanche' cell and Daniel cell for use in two circuits requiring (i) instantaneous & (ii) constant currents. Explain how you will use the cells. (cf. Pat. 1937)

6. একটি নির্জল কোষের বর্ণনা দাও।

Describe a Dry cell.

7. একটি সঞ্চয়ক কোষের বর্ণনা কর। ইহার সহিত ড্যানিয়েল কোষের পার্থক্য কি ?

Describe an accumulator. How does it differ from a Daniel cell ? (C. U. 1954)

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

ওহ্‌মের সূত্র—রোধ

(Ohm's Law—Resistance)

2.1. **রোধ (Resistance) ঃ** কোন পরিবাহীর দুই-প্রান্তের মধ্যে বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিলে পরিবাহীর মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয়। বিভব-বৈষম্য বাড়াইলে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা বাড়ে। ইহা ছাড়া আর একটা জিনিসও লক্ষ্য করা যায়। বিভব-বৈষম্য ঠিক রাখিয়া যদি বিভিন্ন পরিবাহী ব্যবহার করা যায়, তবে প্রবাহের মাত্রা বিভিন্ন হয়। যেমন, একই প্রস্থচ্ছেদের একটি 1 গজ লম্বা ও একটি 10 গজ লম্বা তার লইয়া উহাদের একই তড়িচ্চালক বল-বিশিষ্ট কোষে যুক্ত করিলে দেখা যাইবে যে ছোট তারটির বেলায় প্রবাহের মাত্রা লম্বাটির অপেক্ষা 10 গুণ হয়। ইহা হইতে বুঝিতে পারা যায়, তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা কেবল মাত্র বিভব-বৈষম্যের উপর নির্ভর করে না, উহা পরিবাহীর একটি বিশেষ ধর্মের উপর নির্ভর করে। এই ধর্মকেই পরিবাহীর রোধ (Resistance) বলে। রোধ কথাটির সার্থকতা আছে। যে পরিবাহীর রোধ যত বেশী, উহার মধ্য দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা ততই কম হয়।

অপরিবাহী পদার্থের, যেমন কাচ, বাতাস, প্রভৃতির রোধ অত্যন্ত বেশী।

রোধের ব্যবহারিক একককে **ওহ্‌ম** (Ohm) বলে।

2.2. **তড়িৎ-প্রবাহ ও জল-প্রবাহের তুলনা (Comparison of Current and Water flow) ঃ**

কোন নলের ভিতর দিয়া যখন জল প্রবাহিত হয় তখন ইহার কারণ তোমরা ভাবিয়া দেখিয়াছ কি? নলের দুই-প্রান্তে চাপের পার্থক্য থাকিলে তবেই জলের প্রবাহ সম্ভব হয়। নলের যে প্রান্তের জলের চাপ বেশী, সেই প্রান্ত হইতে নিম্নচাপের প্রান্তের দিকে জল বহিয়া যায়।

নলটি যদি সরু হয়, তবে উহার মধ্য দিয়া জলের প্রবাহ কম হয়। সরু প্রস্থচ্ছেদের নল জলের প্রবাহকে রোধ করে।

নলের ভিতর দিয়া জলের প্রবাহকে পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহের সহিত তুলনা করিয়া দেখ।

পরিবাহীর দুই-প্রান্তে বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিয়া তবেই উহার ভিতরে প্রবাহ সৃষ্টি সম্ভব। এই বিভব-বৈষম্যকে জলের নলের দুই প্রান্তের চাপের পার্থক্যের সহিত তুলনা করা যায়। পরিবাহীর রোধকে নলের রোধের সহিতও তুলনা করা যায়।

2.3. **বিভিন্ন একক (Different Units) :**

তড়িৎ-প্রবাহের একক : তড়িৎ-প্রবাহের যে এককে দৈনিক ব্যবহার করা হয় তাহাকে **অ্যাম্পিয়ার** বলে।

আবার তড়িৎ-প্রবাহ হইল আধানের প্রবাহের মাত্রা। সুতরাং কোন বিন্দু দিয়া t সেকেণ্ডে যদি Q পরিমাণ আধান বহিয়া যায়, তবে প্রবাহের মাত্রা

$$i = \frac{Q}{t}\ ।$$

Q-কে যদি স্থির বৈদ্যুতিক এককে ও সময়কে সেকেণ্ডে প্রকাশ করা যায়, তবে প্রবাহের একক যাহা বাহির হয় তাহা স্থির-বৈদ্যুতিক একক প্রবাহ। তবে এই এককের পরিমাণ এত ছোট যে ইহাকে সাধারণ কাজে ব্যবহার করা চলে না।

সেজন্য ব্যবহারিক কাজে আধানের ক্ষেত্রে একটি নূতন একক কুলম্ব (Coulomb) ব্যবহার করা হয়।

$$1 \text{ কুলম্ব} = 3 \times 10^9 \text{ স্থির-বৈদ্যুতিক আধান।}$$

এখন, কোন বিন্দু দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে যদি 1 কুলম্ব বা 3×10^9 পরিমাণ স্থির-বৈদ্যুতিক আধান প্রবাহিত হয় তবে সেই বিন্দু দিয়া 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হইতেছে বলা হয়। অর্থাৎ,

$$i \text{ অ্যাম্পিয়ার} = \frac{Q \text{ কুলম্ব}}{t \text{ সেকেণ্ড}}\ ।$$

বিভব-বৈষম্যের একক

ব্যবহারিক ক্ষেত্রে বিভব-বৈষম্যের এককের নাম **ভোল্ট** (Volt)।

দুইটি বিন্দুর মধ্যে বিভব-বৈষম্য থাকিলে ও উহাদের পরিবাহী দ্বারা যুক্ত করিলে, উচ্চ বিভববিশিষ্ট বিন্দু হইতে ধনাত্মক আধান নিম্ন বিভবের দিকে যাইবে। আমরা যদি ধনাত্মক আধানকে নিম্ন বিভব হইতে উচ্চ বিভবের দিকে লইয়া যাইতে চাই, তবে বুঝিতেই পার আমাদের কিছুটা কার্য করিতে হইবে।

এইরূপ কোন দুইটি বিন্দুর মধ্যে একটি হইতে অন্যটিতে একক ধনাত্মক আধান লইয়া যাইতে যদি 1 আর্গ কার্য করিতে হয়, তবে ধরিয়া লওয়া হয় যে বিন্দু দুইটির মধ্যে 1 স্থির-বৈদ্যুতিক বিভব-বৈষম্য আছে।

বিভব বৈষম্যের এই একক বড় ; ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ইহার $\frac{1}{300}$ পরিমাণকে একক ধরা হয় ও তাহার নাম ভোল্‌ট।

আবার দেখ, একক স্থির-বৈদ্যুতিক বিভব-বৈষম্য যুক্ত দুইটি বিন্দুর একটি হইতে অন্যটির মধ্যে 1 স্থির-বৈদ্যুতিক একক আধান লইয়া যাইতে 1 আর্গ কার্য করিতে হয়, অতএব ঐ দুই বিন্দুর মধ্যে 1 কুলম্ব (অর্থাৎ 3×10^9 স্থির-বৈদ্যুতিক একক) আধান লইয়া যাইতে 3×10^9 আর্গ বা $\frac{3 \times 10^9}{10^7} = 00$ জুল কার্য করিতে হয়।

আবার 1 ভোল্‌ট যেহেতু 1 স্থির-বৈদ্যুতিক বিভব-বৈষম্যের $\frac{1}{300}$,

অতএব, **যে দুই বিন্দুর একটি হইতে আর একটিতে 1 কুলম্ব বৈদ্যুতিক আধান লইয়া যাইতে 1 জুল কার্য করিতে হয়, সেই দুই বিন্দুর বিভব-বৈষম্যকে 1 ভোল্‌ট বলে।**

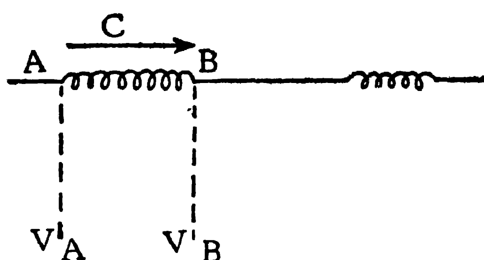
2.4. ওহ্‌মের সূত্র (Ohm's Law) :

কোন পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য যদি স্থির রাখা যায়, তবে পরিবাহীর বিভিন্ন প্রাকৃতিক অবস্থা (যেমন তাপমাত্রা) স্থির থাকিলে দেখা যায় যে উহার ভিতর দিয়া সব সময়ে একই পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হইতে থাকে। বিভব-বৈষম্য যদি বাড়ানো যায়, তবে প্রবাহ-মাত্রাও একই অনুপাতে বাড়ে।

1827 খ্রীষ্টাব্দে জার্মান বিজ্ঞানী ওহ্‌ম এই বিষয়টি লক্ষ্য করেন ও প্রবাহ-মাত্রা ও বিভব-বৈষম্যের সম্বন্ধ নির্দেশ করিয়া একটি সূত্র প্রকাশ করেন। এই সূত্রকে ওহ্‌মের সূত্র বলা হয়।

ওহ্‌মের সূত্র—কোন পরিবাহীর প্রাকৃতিক অবস্থা স্থির থাকিলে, উহার ভিতর দিয়া যে তড়িৎ প্রবাহিত হয় তাহার পরিমাণ পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যের সমানুপাতিক।

2·1. নং চিত্রে দেখ,



2·1

AB পরিবাহীর দুই প্রান্ত A ও B-এর বিভব বৈষম্য $V_A - V_B$।

তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণ C হইলে,

$$C \propto V_A - V_B,$$

অর্থাৎ $\frac{V_A - V_B}{C} = R$ (একটি ধ্রুবক)।

এই ধ্রুবক R-কেই পরিবাহীর রোধ বলা হয়।

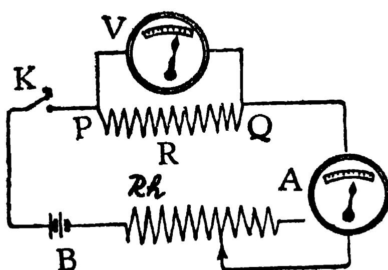
অতএব, ওহ্‌মের সূত্রকে অন্যভাবেও লেখা যায়—

কোন পরিবাহীর ভিতরের প্রবাহ-মাত্রা উহার দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যের সমানুপাতিক এবং উহার রোধের ব্যস্তানুপাতিক।

বিভব-বৈষম্য যদি ভোল্‌ট, এবং প্রবাহকে অ্যাম্পিয়ারে মাপা যায়, তবে রোধের যে একক পাওয়া যায় তাহাকে **ওহ্‌ম** বলে।

$$\text{অর্থাৎ, } 1 \text{ ওহ্‌ম} = \frac{1 \text{ ভোল্‌ট}}{1 \text{ অ্যাম্পিয়ার}} \text{ ।}$$

কাজেই, কোন পরিবাহীর দুই প্রান্তে 1 ভোল্‌ট বিভব-বৈষম্য থাকিলে উহার মধ্যে যদি 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হয়, তবে ঐ পরিবাহীর রোধ হইবে 1 ওহ্‌ম।



2·2
ওহ্‌মের সূত্রের পরীক্ষা

2.5. ওহ্‌মের সূত্রের পরীক্ষা : একটি তড়িৎ কোষ B-এর সহিত একটি রেওষ্টাট (Rheostat) Rh, এবং একটি অ্যাম্মিটার A একটি চাবির (K)

সাহায্যে যুক্ত করা হয়। পরিবাহীর দুই প্রান্তে একটি ভোল্‌ট্‌মিটার V যুক্ত করা হয়। অ্যাম্‌মিটার তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা ও ভোল্‌ট্‌মিটার পরিবাহীর দুই প্রান্ত P ও Q এর বিভব বৈষম্য নির্দেশ করে (চিত্র 2·2)।

রেওস্টাটটির রোধের মান পরিবর্তন করিয়া বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা বদলানো যায়।

মনে কর কোন এক-সময়ে বর্তনীর প্রবাহ-মাত্রা হইল C_1। অ্যাম্‌মিটার A-এর সাহায্যে এই পাঠ পাওয়া যায়। এই সময়ে R রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য ভোল্‌ট্‌মিটার V হইতে পাওয়া গেল। মনে কর এই বিভব-বৈষম্য V_1। এইবার রেওস্টাটের রোধের মান বদলাইয়া প্রবাহ-মাত্রাকে C_2 এবং R রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য V_2 করা হইল।

তাহা হইলে দেখা যাইবে,

$$\frac{V_1}{C_1}=\frac{V_2}{C_2},$$

$$\text{অর্থাৎ}\quad \frac{\text{বিভব-বৈষম্য}}{\text{প্রবাহ-মাত্রা}}=\text{ধ্রুবক।}$$

রোধ R-এর মান পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, ধ্রুবকের মান রোধ R-এর সমান।

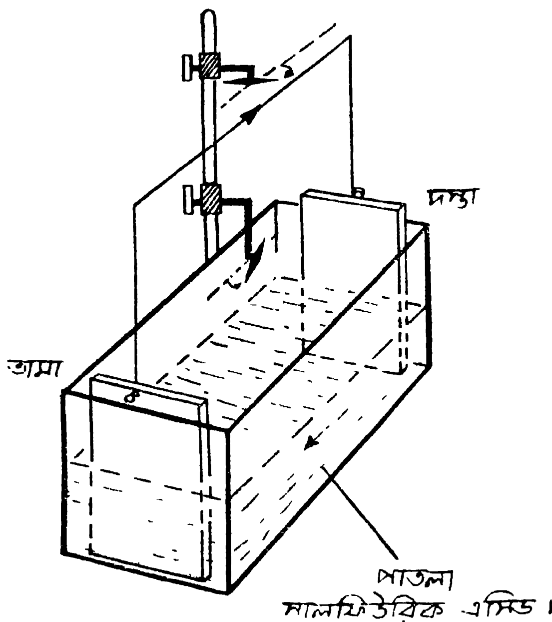
2.6. **তড়িৎ-কোষের ভিতরে প্রবাহের অভিমুখ (Direction of current flow through a cell) :** কোন তড়িৎ-কোষের দুই তড়িৎ-দ্বারকে যদি কোন পরিবাহী দিয়া যুক্ত করা যায়, তবে ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারে পরিবাহীর যে প্রান্ত যুক্ত হয় তাহা উচ্চ বিভবে ও ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারের সহিত যুক্ত পরিবাহীর প্রান্তটি নিম্ন বিভবে পৌঁছায়। ফলে ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারে যুক্ত প্রান্ত হইতে পরিবাহীর ভিতর দিয়া ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারে যুক্ত প্রান্তের দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হইতে থাকে। তড়িৎ-প্রবাহ অর্থ ধনাত্মক আধানের প্রবাহ। অতএব এই তড়িৎ-প্রবাহের ফলে পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভবের সাম্য স্থাপিত হইবার কথা ; এবং তাহার ফলে সংগে সংগে তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ হইয়া যাইবার কথা। কিন্তু এইরূপ হয় না, কারণ ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বার হইতে ধনাত্মক আয়ণ তড়িৎ-দ্রবে দ্রবীভূত হয় ও তড়িৎ-দ্রব হইতে সৃষ্ট ধনাত্মক হাইড্রোজেন (বা অন্য) আয়ণ তরলের মধ্য দিয়া ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারে জমা হয়। অর্থাৎ, কোষের বাহিরে পরিবাহীর ভিতর দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে যে পরিমাণ আধান

ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বার হইতে ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারে যায়, কোষের ভিতরে তরলের মধ্য দিয়া ঠিক সমপরিমাণ আধান ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বার হইতে ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারে যায়।

তাহা হইলে, কোষের বাহিরে যে পরিমাণ প্রবাহ ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বার হইতে ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারে যায়, কোষের ভিতরে সমপরিমাণ প্রবাহ বিপরীত মুখে, অর্থাৎ ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বার হইতে ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারে যায়।

একটি পরীক্ষার দ্বারা এই সত্যকে বুঝিতে পারা যায়।

একটি কাচের পাত্রে পাতলা সালফিউরিক এসিড লইয়া উহার মধ্যে একটি দস্তা ও একটি তামার পাত খাড়া করিয়া রাখা হয়। একটি শক্ত



2·3

কোষের ভিতরে তড়িৎ-প্রবাহের পরীক্ষা

পরিবাহী তারের দুই প্রান্ত পাতদুটির সহিত জুড়িয়া দিয়া তারের মধ্যের অংশ অনুভূমিক করিয়া রাখা হয়। একটি কাঠের ষ্ট্যাণ্ডের সাহায্যে দুইটি সরু চুম্বক শলাকা এমন ভাবে ঝুলানো হয় যেন উহাদের একটি তারের উপরে

উহার খুব কাছে, এবং অন্যটি পাত্রের তরলের উপরে তাহার খুব কাছে থাকে। দেখা যাইবে যে চুম্বক শলাকা-দুটি পরস্পর বিপরীত দিকে ঘুরিয়া গিয়াছে। তৃতীয় পরিচ্ছেদে দেখিবে যে প্রবহমান তড়িতের কাছে চুম্বক শলাকা আনিলে তাহা বিচলিত হয় ও তাহার বিচলনের দিক তড়িতের প্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভর করে। এই পরীক্ষায় তারের উপরে অবস্থিত চুম্বক শলাকা ও তরলের উপরে অবস্থিত চুম্বক শলাকার বিপরীত-মুখী বিচলন হইতে বুঝা যাইবে যে তারে ও তরলে প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত।

2.7. **তড়িৎ-কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ (Internal Resistance of a Cell) :** তড়িৎ-কোষের ভিতরে প্রবাহ চলে। অতএব কোষের তড়িৎ-দ্রব পরিবাহী হিসাবে কাজ করে। সুতরাং যে কোন পরিবাহীর মত এই তরলেরও রোধ আছে। এই রোধকে কোষের আভ্যন্তরীণ রোধ বা অন্তঃরোধ বলে। এই রোধের পরিমাণ তরলের প্রকৃতি ও সংপৃক্ততার মাত্রার উপরে নির্ভর করে। তবে সাধারণতঃ এই রোধের পরিমাণ অত্যন্ত অল্প হয়,—এক ওহ্মের কয়েক দশমাংশ মাত্র, সুতরাং যেখানে বাহিরে সংযুক্ত পরিবাহীর রোধ কয়েক ওহ্ম হয় সেখানে অনেক সময়েই কোষের অন্তঃ-রোধকে উপেক্ষা করা চলে।

2.8. **তড়িৎ-বর্তনী (Electric circuit) :** কোন কোষের দুই প্রান্তে কোন পরিবাহী যুক্ত হইলে, পরিবাহীর মধ্যে তড়িৎ ধনাত্মক হইতে ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারের দিকে, এবং কোষের মধ্যে সমপরিমাণ তড়িৎ ঋণাত্মক হইতে ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারের দিকে প্রবাহিত হয়। অতএব তড়িৎ-প্রবাহ যেন ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বার হইতে বাহির হইয়া পুনরায় সেখানেই ফিরিয়া আসে। কাজেই তড়িৎ বৃত্তাকারে গোটা পথটি পরিভ্রমণ করে বলিয়া কোষ ও পরিবাহীর এই সংযোগকে একটি তড়িৎ-বর্তনী (Electric Circuit) বলে। Circuit শব্দ Circle (বৃত্ত) হইতে আসিয়াছে।

2.9. **পরিবাহীর রোধের পরিমাণ (Magnitude of Resistance of a Conductor) :** কোন পরিবাহীর রোধের পরিমাণ পরিবাহীর (i) দৈর্ঘ্য, (ii) প্রস্থচ্ছেদ, ও (iii) উহা যে বস্তুতে প্রস্তুত তাহার উপরে নির্ভর করে। ইহা ছাড়া তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে পরিবাহীর রোধ পরিবর্তিত হয়।

রোধের সূত্র (Laws of Resistance) :

(i) **দৈর্ঘ্যের সূত্র (Law of length) :** একই প্রস্থচ্ছেদের ও একই উপাদানের পরিবাহীর রোধ উহার দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক।

পরিবাহীর রোধ R, দৈর্ঘ্য l, এবং প্রস্থচ্ছেদ A হইলে, A স্থির থাকিলে

$$R \propto l\,।$$

একই প্রস্থচ্ছেদের একটি এক গজ দীর্ঘ তামার তারের রোধ একটি 10 গজ দীর্ঘ তামার তারের রোধের $\frac{1}{10}$ অংশ।

(ii) **প্রস্থচ্ছেদের সূত্র (Law of Cross Section) :**

দৈর্ঘ্য ও উপাদান স্থির থাকিলে পরিবাহীর রোধ উহার প্রস্থচ্ছেদের ব্যস্তানুপাতিক।

অর্থাৎ, l স্থির থাকিলে, $R \propto \frac{1}{A}$।

একই দৈর্ঘ্যের দুইটি বিভিন্ন প্রস্থচ্ছেদের তামার তার লইলে দেখা যাইবে যে মোটা তারের রোধ সরু তার অপেক্ষা কম হইবে।

(iii) উপরের সূত্র দুটি হইতে, দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদ বদলাইলে,

$$R \propto \frac{l}{A}$$

অর্থাৎ $R = \rho . \frac{l}{A}$, [ρ = ধ্রুব সংখ্যা]।

এই ρ-এর মান পরিবাহীর উপাদানের উপরে নির্ভর করে। তামার ρ লোহার ρ অপেক্ষা কম।

ρ-কে পরিবাহী যে পদার্থে প্রস্তুত তাহার রোধাংক (Specific Resistance) বলে।

$R = \rho . \frac{l}{A}$ সংকেতে,

l যদি 1 সেমি. হয় এবং A যদি 1 ব. সেমি. হয়, তবে $R = \rho$।

অতএব কোন তারের উপাদানের রোধাংক বলিতে ঐ উপাদান দিয়া গঠিত একটি 1 সেমি. দীর্ঘ ও 1 ব. সেমি. প্রস্থচ্ছেদের, অর্থাৎ 1 সেমি. ঘনকের রোধ বুঝায়। অবশ্য তড়িৎ ঘনকের এক পৃষ্ঠের

সহিত লম্বভাবে উহার মধ্যে ঢুকিবে ও লম্বভাবে বিপরীত পৃষ্ঠ হইতে বাহির হইবে।

আবার $\rho=\frac{R.A}{l}$, সুতরাং R ওহ্ম, A ব. সেমি. ও l সেমিতে প্রকাশিত হইলে,

$$\rho=\frac{R.A}{l}\ \frac{\text{ওহ্ম} \times \text{ব. সেমি.}}{\text{সেমি.}}=\frac{RA}{l}\ \text{ওহ্ম-সেমি. হয়।}$$

অতএব ρ-এর একক ওহ্ম-সেমি.।

তাপমাত্রার সহিত পরিবাহীর রোধের পরিবর্তন: সাধারণ ব্যবহৃত সমস্ত পরিবাহীই ধাতুর তৈয়ারী হয়, অবশ্য বিশেষ কাজের জন্য কার্বনকেও পরিবাহী হিসাবে ব্যবহার করা হয়। সমস্ত ধাতব পরিবাহীর রোধ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সহিত বাড়িয়া যায়। কার্বনের রোধ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সহিত কমে।

অনেক পরীক্ষায় পরিবাহীর রোধ তাপমাত্রা বাড়িবার সংগে পরিবর্তিত হইলে অসুবিধা হয়। সেজন্য কয়েক প্রকারের সংকর ধাতুকে পরিবাহী নির্মাণে ব্যবহার করা হয়, এই প্রকারের সংকর ধাতুর রোধ তাপমাত্রার সহিত সামান্যই পরিবর্তিত হয়। কন্স্টান্টান (Constantan — constant বা ধ্রুব হইতে), ইউরেকা (Eureka) প্রভৃতি ধাতু-সংকর ইহার উদাহরণ।

তাপমাত্রা ছাড়া, পরিবাহীর রোধ উহার চাপ, উহার উপরে আপতিত আলোক বা বিদ্যুৎ-তরংগ, উহার উপরে যদি কোন চৌম্বক বলক্ষেত্র কাজ করে তাহার প্রাবল্য প্রভৃতির উপরেও নির্ভর করে।

2.10. **পরিবাহীর রোধের ব্যবহার:** তড়িৎ-প্রবাহের পরীক্ষার সময়ে তড়িৎ বর্তনীতে যে সমস্ত পরিবাহী ব্যবহার করা হয় তাহাদের রোধ বর্তনীতে কাজ করে। তাহা ছাড়া, তড়িৎ-প্রবাহ কমাইবার জন্য সর্বদাই কিছু কিছু এমন পরিবাহী ব্যবহার করা হয় যাহাদের রোধ জানা থাকে। এইরূপ পরিবাহীদের সাধারণতঃ রোধ নামেই অভিহিত করা হয়।

2.11. বিভিন্ন ধরণের রোধ:

প্রয়োজনমত পরীক্ষার কাজে বিভিন্ন ধরণের ও বিভিন্ন মানের রোধ ব্যবহার করা হয়। সেইরূপ কয়েকটি রোধের বর্ণনা দেওয়া হইল।

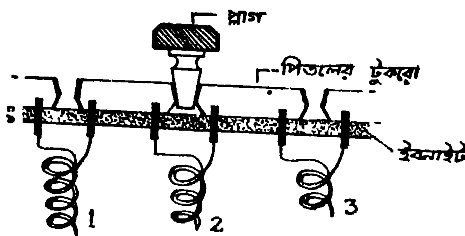
নির্দিষ্ট মানের রোধ (Standard Resistances) : পরীক্ষার জন্য অনেক সময়ে এমন রোধ ব্যবহার করার প্রয়োজন হয় যাহার মান সুনির্দিষ্ট থাকে। এই কাজের জন্য সূক্ষ্মভাবে মাপিয়া একটি রোধ-কুণ্ডলী তৈয়ারী করা হয়। এই রোধ সাধারণতঃ ম্যাংগানিন (Manganin) তারের হয় ও উহার উপরে মোম, বার্ণিশ প্রভৃতির অন্তরক প্রলেপ দেওয়া থাকে। স্ব-আবেশ (Self-induction) হইতে মুক্ত করার জন্য তারটিকে দুই ভাঁজ করিয়া একটি অন্তরক পদার্থের কাঠামের উপরে জড়াইয়া লওয়া হয়। তারের দুই প্রান্ত দুইটি খুব পুরু তামার দণ্ডের সহিত ধাতু গলাইয়া বা সোল্ডার করিয়া যুক্ত করা হয়। তামার দণ্ড দুটি পুরু হওয়ায় উহাদের রোধ সামান্য হয়। সমস্ত রোধটিকে একটি খোলের মধ্যে ভরা থাকে। খোলের উপরে দুইটি ধাতব স্ক্রু-এর সাহায্যে তারটি তড়িৎ-বর্তনীতে সংযুক্ত করার ব্যবস্থা থাকে। যে তাপমাত্রায় রোধের মান নির্দিষ্ট সেই তাপমাত্রা খোলের উপরে লিখিয়া দেওয়া হয়। কখনও কখনও তাপমাত্রা মাপিবার জন্য থার্মমিটার ব্যবহার করিবার একটি ছিদ্র খোলের গায়ে থাকে। চিত্র নং 2·4 হইতে এইরূপ রোধ-কুণ্ডলীর গঠন বুঝিতে পারিবে।

যে সমস্ত রোধের মান কম সেই সমস্ত রোধ তারের না হইয়া পাতলা তামার পাতের হয়। পাতটি ঢেউখেলানো হয় ও খোলা অবস্থায় থাকে যাহাতে উহা ঘরের তাপমাত্রায় থাকিতে পারে। পাতের দুই প্রান্ত দুই বা চারিটি স্ক্রু-এর সহিত যুক্ত থাকে, এবং দুইটি স্ক্রু-এর মধ্যের রোধ অতিশয় সূক্ষ্মভাবে মাপা থাকে।

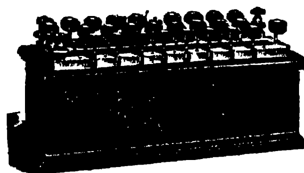
সাধারণ কাজে যে সমস্ত রোধ-কুণ্ডলী (Resistance coil) ব্যবহার করা হয় তাহাদের মান খুব সূক্ষ্মভাবে স্থির না হইলেও চলে।

রেজিস্টান্স বক্স (Resistance Box) : কতকগুলি বিভিন্ন মানের রোধ-কুণ্ডলী পরপর একটি বাক্সে সাজাইয়া রেজিস্টান্স বক্স তৈয়ারী হয়। প্রতিটি কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত দুইটি পুরু পিতলের টুকরার সহিত ঝালাই করা হয়। পিতলের টুকরার নীচে ইবনাইটের টুকরা জোড়া দেওয়া থাকে। দুইটি পিতলের টুকরার ভিতরের ফাঁক একটি ইবনাইটের হাতল-যুক্ত প্লাগ দ্বারা শক্ত করিয়া জুড়িয়া দেওয়া যায়। তখন আর পিতলের টুকরা দুটির সহিত সংযুক্ত রোধ-কুণ্ডলী কাজ করে না। কোন প্লাগ খুলিয়া দিলে কোন তড়িৎ-প্রবাহ একটি পিতলের টুকরা হইতে অন্য টুকরায় যাইতে হইলে বাধ্য হইয়াই

নীচের রোধ-কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া যায়, ফলে এই রোধ-কুণ্ডলী তড়িৎ-বর্তনীর অংশীভূত হইয়া যায়। 2·4 নং চিত্রে 1 এবং 3 নং রোধ-কুণ্ডলী তড়িৎ বর্তনীর অন্তর্ভুক্ত হইবে, কিন্তু 2 নং কুণ্ডলী হইবে না।



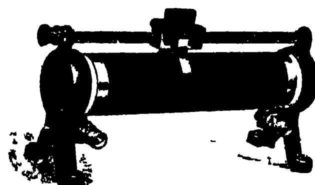
2·4



2·5

রেজিস্টান্স বক্স

রেওস্টাট (Rheostat) ঃ যেখানে বর্তনীর রোধ পরিবর্তন করিতে হয়, সেখানে প্রায়ই রেওস্টাট ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্রে একটি অন্তরক চোঙের গায়ে ম্যাংগানীজ ধাতুর একটি তার কয়েক পাকে জড়ানো থাকে। পাকগুলি পরস্পর স্পর্শ করে না। তারের দুই প্রান্ত নীচের দিকে দুইটি সংযোজক স্ক্রুতে আটকানো থাকে। ইহা ছাড়া চোঙ হইতে উপরে অন্তরক স্ট্যাণ্ডের উপরে একটি ধাতুর দণ্ড চোঙের সমান্তরাল ভাবে আটকানো থাকে এবং এই ধাতুর প্রান্তে তারের একদিক হইতে সংযোগ থাকে। ধাতুর দণ্ডের উপরে একটি সঞ্চরণশীল ধাতুর স্পর্শকারী পাত (sliding metallic

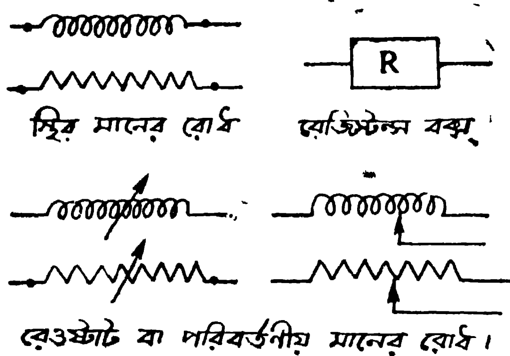


2·6

contact) চলাফেরা করে ও রেওস্টাটের বিভিন্ন স্থানে যুক্ত হয়। ধাতুর

দণ্ডের এক প্রান্তে একটি স্ক্রু দ্বারা রেওস্টাটকে তড়িৎ-বর্তনীতে যুক্ত করা যায়। স্পর্শকারী পাতকে এদিক ওদিক সরাইয়া রেওস্টাটের কম বেশী পাককে বর্তনীর সহিত সংযুক্ত করা হয় ও ফলে বর্তনীর মোট রোধ বাড়ে কমে।

2.11. **রোধের সরল চিত্র (Schematic Diagrams of Resistances)** : তড়িৎ-বর্তনীর ছবি আঁকিবার সময়ে রোধকে সহজ করিয়া



2·7

আঁকিবার প্রয়োজন হয়। সেজন্য 2·7 নং চিত্রের ন্যায় করিয়া উহাকে দেখানো হয়।

2.12. **বিভিন্ন ধরণের চাবি (Keys)** : তড়িৎ-বর্তনীর একটি প্রয়োজনীয় অংশ হইল চাবি, ইহার সাহায্যে প্রয়োজন মত তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ বা চালু করা যায়। প্রয়োজন মত বিভিন্ন ধরণের চাবি ব্যবহার করা হয়।

প্লাগ চাবি : যে সমস্ত স্থানে বেশ কিছুক্ষণ তড়িৎ প্রবাহ চালু রাখিবার বা বন্ধ করিবার প্রয়োজন হয়, সেখানে প্লাগ চাবি ব্যবহার করা হয়। একটি ইবনাইটের চাবির উপরে দুইটি পিতলের টুকরা মধ্যস্থলে ফাঁক রাখিয়া পাশাপাশি বসানো থাকে ; প্রতিটি পিতলের টুকরার সহিত একটি করিয়া সংযোজক স্ক্রু আছে। কাজের সময়ে এই স্ক্রু দুটির সাহায্য চাবিকে বর্তনীতে যুক্ত করা হয়। ইবনাইটের হাতল যুক্ত একটি পিতলের টুকরা বা প্লাগ দিয়া চাবির দুইটি পিতলের টুকরার ফাঁককে ভরিয়া



2·8

ফেলা যায়। যখন প্লাগটি বসানো থাকে, তখন তড়িৎ চাবির একটি স্ক্রু-এর সাহায্যে ঢুকিয়া পিতলের টুকরাগুলির ভিতর দিয়া গিয়া অন্য স্ক্রু-এর পথে বাহির হইয়া যায়। কিন্তু প্লাগ খোলা থাকিলে প্রবাহের পথ বিচ্ছিন্ন হইয়া যায়। 2·8 নং চিত্রে প্লাগ চাবির সরল চিত্র দেখিবে।

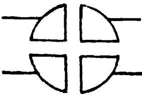
টেপা চাবি (Tapping Key) : যে সমস্ত পরীক্ষায় তড়িৎ-প্রবাহ অতি সামান্য ক্ষণের জন্য চালু রাখিতে হয়, সেখানে টেপা চাবি ব্যবহার করিতে হয়।

একটি ইবনাইটের পাতের উপর একটি ইস্পাত, ফস্‌ফর ব্রোঞ্জ বা অন্য ধাতুর স্থিতিস্থাপক পাত একপ্রান্তে একটি স্ক্রু-এর সাহায্যে এমন ভাবে আটকানো থাকে যে উহার খোলা প্রান্তটি শূন্যে থাকে। ধাতব পাতটির এই প্রান্তেও একটি ইবনাইটের মাথা-যুক্ত ধাতব স্ক্রু আটকানো থাকে। এই স্ক্রু-এর নীচে ইবনাইটের পাতের উপরে একটি স্ক্রু উলটা করিযা অর্থাৎ মাথা নীচের দিকে রাখিয়া আটকানো চাবিটিকে তড়িৎ বর্তনীতে যুক্ত করিবার জন্য ইবনাইটের পাতের স্ক্রু-দুটি ব্যবহার করা হয়। ধাতব পাতের ইবনাইটের টুকরার উপরে চাপ দিয়া ইহাকে এই উল্‌টা স্ক্রু এর সহিত সংযুক্ত করা হয়। এই অবস্থায় তড়িৎ প্রবাহ পাতের ভিতর দিয়া প্রবাহিত হইতে পারে। পাতটি তোলা থাকিলে সংযোগ বিচ্ছিন্ন হয়।



2·9
টেপা চাবিব সবল চিত্র

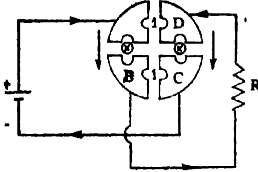
কমুটেটর (Commutator) : তড়িৎ-বর্তনীর কোন অংশে তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ বদলাইতে হইলে কমুটেটর ব্যবহার করিতে হয়। একটি ইবনাইটের পাতের উপরে চারিটি বৃত্তপাদের আকারের পিতলের টুকরা বৃত্তাকারে পরস্পরের মধ্যে সামান্য ফাঁক রাখিয়া বসানো থাকে। প্রতিটি টুকরা এক একটি সংযোজক স্ক্রু-এর সহিত যুক্ত থাকে। যন্ত্রের সহিত এক জোড়া প্লাগ দেওয়া হয়, ইহাদের যে কোনটির সাহায্যে দুইটি বৃত্তপাদের মধ্যের ফাঁক বুঁজিয়া উহাদের যুক্ত করিয়া দেওয়া যায়।

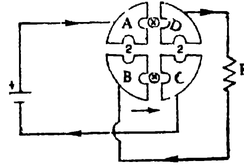


2·10

প্লাগ দুটিকে এমন ভাবে বসানো হয় যে উহারা যেন কোন ব্যাসের দুই প্রান্তে বসে, তখন তড়িৎ কমুটেটরের মধ্য দিয়া একদিকে চলে। প্লাগ দুটিকে তুলিয়া অন্য ব্যাস বরাবর বসাইলে কমুটেটর প্রবাহের দিক পরিবর্তন করিয়া দেয়। 2·11 নং চিত্রে ব্যাপারটি বুঝিতে পারা যাইবে।

ব্যাটারিকে কমুটেটরের A ও C পাদে যুক্ত করা হইয়াছে, এবং বহিঃরোধ R, B ও D-তে যুক্ত হইয়াছে। তড়িৎ-প্রবাহ কমুটেটরে A পাদ দিয়া





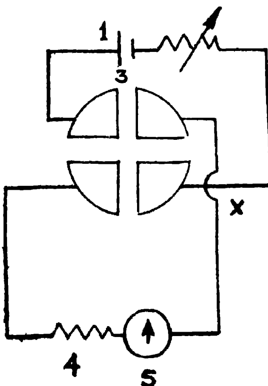
(a) 2·11 (b)

কমুটেটরের সাহায্যে বর্তনীর প্রবাহের অভিমুখ পরিবর্তন

ঢুকিতেছে ও C পাদ দিয়া কমুটেটর হইতে বাহির হইয়া ব্যাটারিতে ফিরিয়া যাইতেছে। (a) নং চিত্রে প্লাগ দুটিকে 2, 2 নং ছিদ্রে বসানো হইয়াছে। ফলে তড়িৎ-প্রবাহ কমুটেটরে A পাদ হইতে B পাদে গিয়া R-এর মধ্যে বামাবর্তী পথে যাইতেছে, এবং D-তে ফিরিয়া সেখান হইতে C পাদ হইয়া ব্যাটারিতে যাইতেছে।

(b) নং চিত্রে প্লাগ দুটিকে 1, 1 নং ছিদ্রে বসানো হইয়াছে। প্রবাহ AD→R→BC পথে যাইতেছে। R-এর মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহ দক্ষিণাবর্তী।

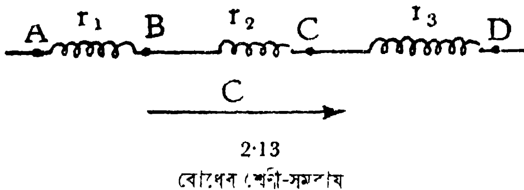
2.13. **তড়িৎ-বর্তনীর সরল চিত্র (Schematic Diagram of Electric Circuits):** 2·12 নং চিত্রে তড়িৎ-বর্তনীর একটি সরল চিত্র দেখানো হইয়াছে 1: কোষ; 2: রেওস্টাট; 3: কমুটেটর; 4: রোধ; 5 গ্যালভ্যানোমিটার। চিত্রের × বিন্দুটি লক্ষ্য কর। কমুটেটর হইতে তার যখনি গ্যালভানোমিটারের পথে যাইতেছে তখন উহার সহিত যে রেওস্টাট হইতে কমুটেটরগামী তারের যোগ ঘটে নাই তাহা দেখাইবার জন্য রেখাকে একটু বাঁকাইয়া দেওয়া হইয়াছে।



2·12

2.14. **রোধের সমবায় (Combination of Resistances) :** পরীক্ষাকালে অনেক সময়ে দেখা যায় যে তড়িৎ-বর্তনীতে একটির বদলে বেশ কয়েকটি রোধ আছে। কয়েকটি রোধের সমবায়ে কোন তড়িৎ-বর্তনী তৈয়ারী হইলে, সেখানে তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণ নির্ণয় করিবার জন্য রোধগুলির মোট প্রভাবকে সহজ সংকেতে বাহির করা হয়।

রোধের শ্রেণীবদ্ধ সমবায় (Combination of Resistances in Series) : কতকগুলি রোধ যদি এমন ভাবে থাকে যে উহারা একটি আর একটির সহিত পরপর যুক্ত থাকে যেন সবকটির ভিতর দিয়া একই তড়িৎ



2·13
রোধের শ্রেণী-সমবায়

প্রবাহ চলে, তবে বলা হয় যে উহারা শ্রেণীবদ্ধ ভাবে রহিয়াছে (চিত্র নং 2·13)। এই অবস্থায় এই পরিবাহীগুলির মোট রোধ হইবে উহাদের প্রত্যেকের রোধের যোগফলের সমান অর্থাৎ, রোধগুলির মান যদি r_1, r_2, r_3······হয়, তবে মোট রোধ $r = r_1 + r_2 + r_3 + \cdots\cdots$।

প্রমাণ : মনে কর যে 2·13 নং চিত্রে শ্রেণী সমবায়ে সজ্জিত রোধগুলির মধ্য দিয়া C তড়িৎ বহিতেছে ; তাহা হইলে ওহ্‌মের সূত্র অনুসারে, প্রতিটি রোধের দুই প্রান্তে কিছু কিছু বিভব-বৈষম্য ঘটিবে। A, B, C, D, প্রভৃতি বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A, V_B···হইলে,

r_1 রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য $= V_A - V_B$

$= C\,r_1$ (ওহ্‌ম সূত্র অনুসারে)

r_2 রোধের দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য $= V_B - V_C = C\,r_2$,

r_3 রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য $= V_C - V_D = C\,r_3$।

অতএব, r_1, r_2, r_3 রোধগুলির যুক্ত অবস্থায় A ও B দুই বিন্দুর মধ্যে মোট বিভব-বৈষম্য $= V_A - V_B + V_B - V_C + V_C - V_D = V_A - V_D$

$= C(r_1 + r_2 + r_3)$।

এইবারে মনে কর, r_1, r_2, r_3···রোধগুলিকে সরাইয়া উহাদের পরিবর্তে A ও D বিন্দুর মধ্যে এমন একটি রোধ r ব্যবহার করা হইল যেন A ও D-এর

মধ্যের বিভব-বৈষম্য $V_A - V_D$-ই থাকে, এবং প্রবাহের পরিমাণও C থাকে। তাহা হইলে, নূতন রোধ ব্যবহার করিলে—

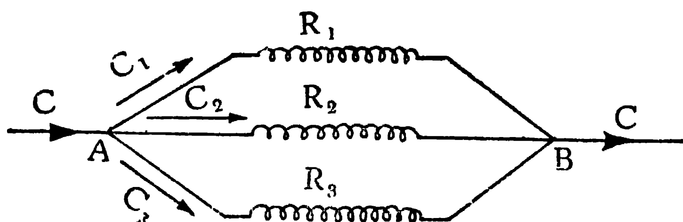
$$C.r = V_A - V_D$$
$$= C(r_1 + r_2 + r_3) ।$$

অর্থাৎ, $r = r_1 + r_2 + r_3$ ।

r-কে r_1, r_2, r_3—এর শ্রেণী সমবায়ের তুল্যরোধ (equivalent resistance) বলা হয়।

দ্রষ্টব্য : A বিন্দুর বিভব D বিন্দুর বিভব হইতে উচ্চ, নহিলে A হইতে D অভিমুখে প্রবাহ যাইত না। সেজন্য $V_A - V_D$-কে A ও D বিন্দুর মধ্যে বিভব-বৈষম্য (potential difference) না বলিয়া বিভব-পতন (Fall of Potential) বলে।

রোধের সমান্তরাল সমবায় (Combination of Resistances in Parallel) : কয়েকটি রোধকে যদি এমন ভাবে সজ্জিত করা হয় যে উহাদের



2·14

রোধের সমান্তরাল সজ্জা

সমবায়টির একপ্রান্ত একবিন্দুতে ও অপর প্রান্ত আর একটি বিন্দুতে যুক্ত হয়, তবে বলা হয় যে রোধগুলিকে সমান্তরাল ভাবে সাজানো হইয়াছে (চিত্র নং 2·14)।

চিত্রে দেখ, R_1, R_2, R_3. রোধের একপ্রান্ত A বিন্দুতে ও অন্যপ্রান্ত B বিন্দুতে যুক্ত করা হইয়াছে। এই অবস্থায় রোধগুলির তুল্যরোধ যদি R হয়

তবে $$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} ।$$

অনেকগুলি রোধ সমান্তরাল ভাবে থাকিলে,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots$$

প্রমাণ : 2·14 নং চিত্রে, রোধগুলির প্রত্যেকটির এক প্রান্ত A বিন্দুতে যুক্ত হইয়াছে, অতএব প্রত্যেকটি রোধের এই প্রান্তের বিভব V_A, এবং একই ভাবে প্রত্যেকটি রোধের অপর প্রান্তের বিভব V_B ।

অতএব প্রত্যেকটি রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য $= V_A - V_B$ ।

বর্তনীর মূল তড়িৎ-প্রবাহ C, A বিন্দুতে পৌঁছিয়া তিন ভাগে ভাগ হইয়া গিয়াছে, কারণ রোধগুলির প্রত্যেকটি পরিবাহী হওয়ায় প্রত্যেকটির মধ্য দিয়াই তড়িৎ প্রবাহিত হইবে। প্রবাহের এই ভাগগুলির পরিমাণ যথাক্রমে C_1, C_2 ও C_3 ধরা যাক।

তাহা হইলে, আমরা যদি ওহ্মের সূত্র প্রয়োগ করি, তবে

প্রথম পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভর-বৈষম্য $V_A - V_B = C_1 R_1$,

দ্বিতীয় পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য $V_A - V_B = C_2 R_2$,

তৃতীয় পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য $V_A - V_B = C_3 R_3$ ।

$$\therefore \quad C_1 R_1 = C_2 R_2 = C_3 R_3 = V_A - V_B \cdots \quad \cdots \qquad \text{(i)}$$

এইবারে মনে কর যে এই রোধগুলি সরাইয়া উহাদের বদলে A ও B বিন্দুর মধ্যে এমন একটি রোধ R ব্যবহার করা হইল যাহা বর্তনীর মূল তড়িৎ-প্রবাহকে পরিবর্তিত করিল না, এবং A ও B বিন্দুর বিভব-বৈষম্য স্থির রাখিল। স্বভাবতঃই তিনটি রোধ R_1, R_2, R_3-এর পরিবর্তে একটি মাত্র রোধ R বসাইবার ফলে A ও D বিন্দুর মধ্যে মূল তড়িৎ-প্রব.হ C যাইবে।

তাহা হইলে, $$C R = V_A - V_B \cdots \quad \cdots \qquad \text{(ii)}$$

(i) নং সংকেত হইতে,

$$C_1 = \frac{V_A - V_B}{R_1},$$

$$C_2 = \frac{V_A - V_B}{R_2},$$

$$C_3 = \frac{V_A - V_B}{R_3} \text{ ।}$$

আবার (ii) নং সংকেত হইতে, $C = \dfrac{V_A - V_B}{R}$ ।

এখন, $$C = C_1 + C_2 + C_3,$$

$$\text{অতএব } \frac{V_A - V_B}{R} = \frac{V_A - V_B}{R_1} + \frac{V_A - V_B}{R_2} + \frac{V_A - V_B}{R_3}$$

$$= (V_A - V_B)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) \text{।}$$

$$\therefore \qquad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \text{।}$$

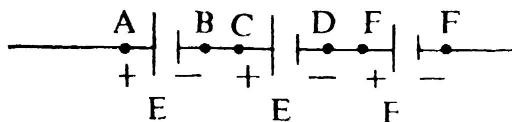
দ্রষ্টব্য : $\frac{1}{R}$ কিন্তু তুল্যরোধের মান নয়, তাহার বিপরীত।

i) নং সংকেত হইতে আর একটি বিষয় লক্ষ্য কর, সমান্তরাল সজ্জার যে শাখায় রোধ বেশী, সেই শাখায় প্রবাহের পরিমাণ কম।

2.15. **কোষের সমবায় (Combination of Cells) :**

শ্রেণী সমবায় (Combination in Series) :

কয়েকটি কোষ যদি পরপর এমন ভাবে যুক্ত থাকে যে উহাদের একটির



2·15

কোষেব শ্রেণী সমবায়

ঋণাত্মক তড়িৎদ্বার পরের কোষের ধনাত্মক তড়িৎদ্বারের সহিত যোগ করা থাকে, তবে বলা হয় যে কোষগুলি শ্রেণী-সজ্জায় রহিয়াছে (2·15 নং চিত্র)।

চিত্রে তিনটি E তড়িচ্চালক বলের এবং r অন্তঃরোধের কোষ শ্রেণী-সজ্জায় রহিয়াছে। এইরূপ সজ্জায় কোষগুলির মোট তড়িচ্চালক বল $= E + E + E = 3E$।

মোট অন্তঃরোধ $= r + r + r = 3r$।

কোষগুলির তড়িচ্চালক বল $E_1, E_2, E_3 \cdots$ হইলে এবং রোধ $r_1, r_2, r_3, \cdots$ হইলে মোট তড়িচ্চালক বল $= E_1 + E_2 + E_3 \cdots$ এবং মোট অন্তঃরোধ $= r_1 + r_2 + r_3 \cdots$।

প্রমাণ :

প্রথম কোষের B বিন্দু ও দ্বিতীয় কোষের C বিন্দু একই বিভবে রহিয়াছে, আবার D ও E বিন্দু একই বিভবে আছে।

$$V_A - V_B + V_C - V_D + V_E - V_F = E + E + E = 3E = V_A - V_F$$

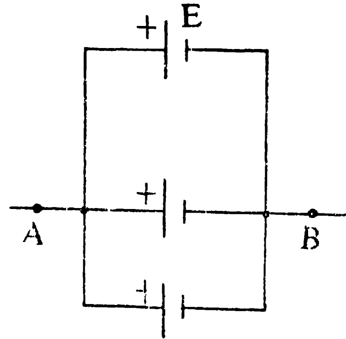
অতএব

A ও F বিন্দুর মধ্যে একটি কোষ বসাইয়া সমপরিমাণ বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিতে হইলে উহার তড়িচ্চালক বল হইবে 3E।

আবার যেহেতু প্রতিটি কোষের অন্তঃরোধ শ্রেণী সমবায়ে রহিয়াছে অতএব মোট অন্তঃরোধের পরিমাণ শ্রেণী সমবায়ের ভিত্তিতে $3r$।

কোষের সমান্তরাল সমবায় (Combination of Cells in Parallel) :

যখন কয়েকটি কোষ এমনভাবে যোগ করা হয় যে প্রতিটির ধনাত্মক তড়িৎদ্বার এক বিন্দুতে ও ঋণাত্মক তড়িৎদ্বার অন্য এক বিন্দুতে যুক্ত হয়, তখন তাহাদের সমান্তরাল সমবায় হয় (চিত্র নং 2.16)।



2·16
কোষের সমান্তরাল সমবায়

এইরূপ n-টি কোষের প্রত্যেকের তড়িচ্চালক বল E ও অন্তঃরোধ r হইলে, মোট তড়িচ্চালক বল E, এবং মোট রোধ $\frac{r}{n}$ হইবে।

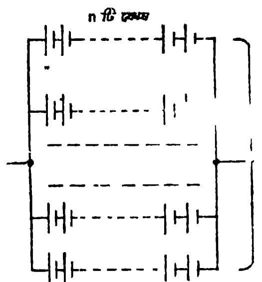
2.16 নং চিত্রে দেখ, A ও B বিন্দুর বিভব-বৈষম্য যে কোন কোষের তড়িচ্চালক বলের সমান, অর্থাৎ E। অতএব চিত্রে তিনটি কোষ যুক্ত থাকিলেও, মোট বিভব-বৈষম্য E-ই হইবে।

কোষগুলির অন্তঃরোধ r হইলে, উহারা সমান্তরাল সজ্জায় আছে বলিয়া মোট রোধ $= \frac{r}{3}$।

কোষের মিশ্র সমবায় (Mixed Combination of cells) : কোন বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি করিবার জন্য যেখানে কয়েকটি কোষ দেওয়া থাকে, সেখানে কোষগুলিকে শ্রেণী সমবায়ে সাজাইলে মোট তড়িচ্চালক বল বাড়ে, ফলে আপাততঃ মনে হয় প্রবাহের পরিমাণ বাড়িবে। কিন্তু সেখানে মোট অন্তঃরোধ বাড়িয়া যায়, ফলে তাহা প্রবাহের পরিমাণ কমাইবার প্রয়াস পায়।

কোষগুলিকে সমান্তরাল ভাবে সাজাইলে মোট অন্তঃরোধ কমিয়া যায়, কিন্তু মোট তড়িচ্চালক বল বাড়ে না।

সেজন্য, প্রবাহের পরিমাণ বাড়াইবার জন্য কোষগুলির কতকগুলিকে শ্রেণী সজ্জায় সাজাইয়া এইরূপ কয়েকটি শ্রেণীকে আবার সমান্তরাল রাখা হয়। এই ভাবে ঠিক মত সাজাইলে প্রবাহের পরিমাণ বাড়ানো যায়।



2·17
কোষের মিশ্র সমবায়

2·17 নং চিত্রে কয়েকটি কোষের মিশ্র সমবায় দেখানো হইয়াছে। মোট N-টি কোষের n-টি করিয়া কোষ শ্রেণী সজ্জায় বসাইয়া এইরূপ m-টি শ্রেণী তৈয়ারী করা হইয়াছে, এবং এই m-টি শ্রেণীকে সমান্তরাল ভাবে সাজানো হইয়াছে।

অতএব, $N = mn$।

প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল E ও অন্তঃরোধ r হইলে, প্রতিটি শ্রেণীর মোট তড়িচ্চালক বল $= n\text{E}$, এবং মোট রোধ $= nr$।

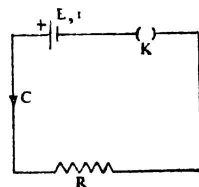
এইরূপ m-টি শ্রেণী সমান্তরাল হওয়ায়,

সমস্ত সমবায়টির তড়িচ্চালক বল $= n\text{E}$,

এবং অন্তঃরোধ $= \dfrac{nr}{m}$।

2.16. তড়িৎ-বর্তনীতে প্রবাহের পরিমাণ (Magnitude of current in an Electric Circuit) :

মনে কর E তড়িচ্চালক বল ও r অন্তঃরোধ বিশিষ্ট একটি কোষ R রোধের একটি পরিবাহীর ভিতরে প্রবাহ সৃষ্টি করিতেছে (চিত্র নং 2·18)। একটি চাবী।



2·18

প্রবাহের পরিমাণ C হইলে, ওহ্মের সূত্র অনুসারে পরিবাহীর মধ্যে বিভব-পতন $= \text{CR}$, এবং কোষের মধ্যে বিভব-পতন $= \text{C}r$।

যেহেতু একই প্রবাহ কোষ ও R-এর মধ্যে যাইতেছে, অতএব R রোধ

ও কোষের অন্তঃরোধ r শ্রেণী সমবায়ে রহিয়াছে, এবং মোট বিভব-পতন = $CR + Cr = C(R + r)$।

এই বিভব-পতন নিশ্চয় কোষের তড়িচ্চালক বলের সমান।

$$\therefore \quad C \quad (R + r) = E,$$

$$\text{কিংবা} \quad C = \frac{E}{R + r} \text{ ।}$$

$$\text{অর্থাৎ, প্রবাহের পরিমাণ} = \frac{\text{তড়িচ্চালক বল}}{\text{বহিঃরোধ + অন্তঃরোধ}} \text{ ।}$$

যদি কতকগুলি কোষের সমবায় ও কতকগুলি রোধের সমবায় ব্যবহৃত হইত, তবে প্রবাহের পরিমাণ = $\dfrac{\text{মোট তড়িচ্চালক বল}}{\text{মোট বহিঃরোধ + মোট অন্তরোধ}}$ ।

বিভব পতনের মোট পরিমাণ $CR + Cr$-এর মধ্যে CR-কে বহিঃরোধে বিভব-পতন ও Cr-কে অন্তঃরোধে বিভব-পতন বলা হয়।

2.17. যেখানে কয়েকটি কোষের ও কয়েকটি রোধের সমবায় ব্যবহার করা হয়, সেখানে মোট বহিঃরোধ R হইলে (কোষের বাহিরের সমস্ত রোধ-গুলির তুল্যরোধকে R বলা হইল), দেখা যায় যে তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণ সর্বোচ্চ হইতে হইলে, মোট বহিঃরোধ = মোট অন্তঃরোধ হওয়া প্রয়োজন।

অর্থাৎ, 2.15. নং নিবন্ধে কোষের মিশ্র সমবায়ের সংকেত হইতে,

$$\text{প্রবাহ } C = \frac{nE}{R + \frac{nr}{m}} \text{ ।}$$

এখানে $R = \dfrac{nr}{m}$ হইলেই সর্বোচ্চ প্রবাহ পাওয়া যায়।

2.18. কোষের তড়িচ্চালক বল ও প্রান্তিক বিভব (E M.F. and Terminal Voltage of a Cell) :

কোন কোষ যখন বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি করিবার জন্য ব্যবহৃত হয় (চিত্র নং 2·18), তখন উহার তড়িচ্চালক বলের কিছু অংশ কোষের অন্তঃ-রোধের বিরুদ্ধে ব্যয় হয়, এবং বাকীটুকু বহিঃরোধে তড়িৎ প্রবাহিত করে। সুতরাং আমরা যখন প্রবাহ চালু অবস্থায় কোষের তড়িৎদ্বার দুইটির বিভব-বৈষম্য মাপিবার চেষ্টা করি, তখন সেখানে যে বিভব-বৈষম্য ধরা পড়ে তাহা তড়িচ্চালক বল হইতে কোষের ভিতরে যে বিভব-পতন ঘটিয়াছে তাহা বাদ

দিয়া পাওয়া বিভব-বৈষম্য ; অর্থাৎ, উহা বহিঃরোধে বিভব-পতনের সমান। অতএব তড়িৎদ্বারে মাপা বিভব-বৈষম্য তড়িৎচ্চালক বল অপেক্ষা কম।

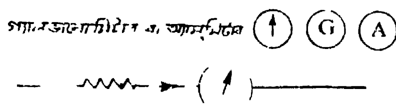
কোষের তড়িচ্চালক বল E, অন্তঃরোধ r এবং বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ C হইলে, তড়িৎদ্বারে মাত্র $E - Cr$ পরিমাণ বিভব-বৈষম্য পাওয়া যায়। এই বিভব-বৈষম্যকে কোষের প্রান্তিক বিভব (Terminal Potential) বলে।

অতএব, প্রান্তিক বিভব $V = E - Cr$।

একটা বিষয় লক্ষ্য কর, প্রবাহ চালু না থাকিলে, অর্থাৎ $C = O$ হইলে, $Cr = O$, অর্থাৎ,

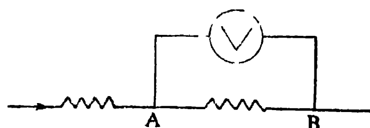
$$V = E।$$

2.19. **প্রবাহ ও বিভব-বৈষম্য মাপিবার উপায় (Methods to measure current and potential differences) :** কোন বর্তনীর প্রবাহ মাপিবার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাহাকে অ্যামমিটার (Ammeter) বা



2.19
প্রবাহ মাপিবার জন্য গ্যালভানোমিটার ব্যবহার

গ্যালভানোমিটার (Galvanometer) বলা হয়। বর্তনীর প্রবাহকে এই যন্ত্রের ভিতর দিয়া প্রবাহিত করিলে যন্ত্রের কাঁটা বিক্ষিপ্ত হয় ও প্রবাহের পরিমাণ দেয়। যেহেতু প্রবাহকে গ্যালভানোমিটারের ভিতরে পাঠাইতে হইবে, স্বভাবতঃই গ্যালভানোমিটারকে বর্তনীতে শ্রেণী সজ্জায় বসানো হয় (চিত্র নং 2·20)।



2·20
ভোল্টমিটারের সংযোগ

বর্তনীর কোন দুই বিন্দুর বিভব-বৈষম্য মাপিবার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাহাকে ভোল্ট্‌মিটার বলে। ভোল্ট্‌মিটারকে বিন্দুদুটির সমান্তরাল সজ্জায় বসানো হয়। (চিত্র নং 2·20)।

চিত্র নং 2·2-তে গ্যালভানোমিটার ও ভোল্ট্‌মিটারের একসংগে ব্যবহার দেখিতে পাইবে।

2.20. **অনুশীলন ঃ**

(*a*) 4 ভোলট্ তড়িচ্চালক বল ও 3 ওহ্ম অন্তঃরোধ বিশিষ্ট একটি কোষকে 9 ওহ্ম রোধের একটি পরিবাহীর সহিত যুক্ত করা হইল। প্রবাহের পরিমাণ কত?

চিত্র নং 2·18 দেখ।

তড়িচ্চালক বল $E = 4$ ভোল্ট,

অন্তঃরোধ $r = 3$ ওহ্ম,

বহিঃরোধ $R = 9$ ওহ্ম।

প্রবাহ $C = ?$

$$\therefore\ C = \frac{E}{R+r} = \frac{4}{9+3} = \frac{4}{12} = 0·33 \text{ অ্যা।}$$

(*b*) কোন কোষের তড়িচ্চালক বল 1·5 ভোল্ট এবং অন্তঃরোধ 0·07 ওহ্ম। ইহার সহিত কত রোধ যুক্ত করিলে 5 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ পাওয়া যাইবে? (C.U. 1933)

তড়িচ্চালক বল $E = 1·5$ ভোল্ট,

অন্তরোধ $r = 0·07$ ওহ্ম

বহিঃরোধ $R = ?$

প্রবাহ $C = 5$ অ্যাম্পিয়ার।

$$\therefore\ C = \frac{E}{R+r} \text{ হইতে,}$$

$$;5 = \frac{1·5}{R + 0·07},$$

অথবা, $5R + ·35 = 1·5$

$$\therefore\ 5R = 1·5 - ·35 = 1·15$$

$$\therefore\ R = \frac{1·15}{5} = 0·23 \text{ ওহ্ম।}$$

(*c*) একটি কোষের তড়িচ্চালক বল 2 ভোল্ট ; 10 ওহ্ম মানের একটি রোধের সহিত কোষটিকে যুক্ত করিলে ইহার প্রান্তিক বিভব (terminal potential) হয় 1·6 ভোল্ট। কোষটির অন্তঃরোধ কত?

কোষের তড়িচ্চালক বল $E = 2$ ভোল্ট ;

অন্তঃরোধ $r = ?$

বহিঃরোধ $R = 10$ ওহ্‌ম ;

প্রান্তিক বিভব $V = 1{\cdot}6$ ভোল্‌ট।

মনে কর বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ $= C$।

$\therefore$ কোষের ভিতরে বিভব-পতন $= Cr$।

$\because$ প্রান্তিক বিভব $V =$ তড়িচ্চালক বল $-$ আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন

$$= E - Cr$$

$\therefore$ $1{\cdot}6 = 2 - Cr$,

অথবা $Cr = 0.4$ ভোল্‌ট।

$\therefore$ $C = \dfrac{E}{R + r}$ সংকেত হইতে,

$E = CR + Cr$

অথবা $2 = C \times 10 + 0{\cdot}4$

$\therefore$ $C = \dfrac{2 - 0{\cdot}4}{10} = 0{\cdot}16$ অ্যা.

$\therefore$ $Cr = 0{\cdot}4$ হইলে

$$r = \frac{0{\cdot}4}{0{\cdot}16} = 2{\cdot}5 \text{ ওহ্‌ম।}$$

দ্রষ্টব্য : কোষের প্রান্তিক বিভব $=$ বহিঃরোধে বিভব-পতন।

(*d*) কোন ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল 12 ভোলট্। ইহাকে একটি পরিবাহীর সহিত যুক্ত করিলে $1{\cdot}2$ অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হয় ও ব্যাটারীর প্রান্তিক বিভব $8{\cdot}4$ ভোলট্ হয়। পরিবাহীর রোধ ও ব্যাটারীর অন্তরোধ কত ?

বহিঃরোধে বিভব-পতন $=$ (ব্যাটারীর প্রান্তিক বিভব)

$= 8{\cdot}4$ ভোল্‌ট $= CR$।

$\therefore$ $1{\cdot}2 \times R = 8{\cdot}4$, অথবা $R = 7$ ওহ্‌ম।

ব্যাটারীর আভ্যন্তরীণ বিভব-পতন $= E - CR$

$= 12 - 8{\cdot}4 = 3{\cdot}6$ ভোল্‌ট।

$\therefore$ $Cr = 3{\cdot}6$ ভোল্‌ট,

অথবা $1{\cdot}2 \times r = 3{\cdot}6$ ভোল্‌ট, বা $r = 3$ ওহ্‌ম।

(e) একটি দীপ্তিবাতির রোধ 56 ওহ্ম। ইহাকে জ্বালাইতে 35 ভোল্ট প্রয়োজন। বাতিতে কত প্রবাহ হইবে?

$$C = \frac{V}{R}$$

$$\therefore\ C = \frac{35}{56} = 0{\cdot}625 \text{ অ্যাম্পিয়ার।}$$

(f) কোন দীপ্তিবাতির রোধ 10 ওহম্ ও উহাকে জ্বালাইতে 12 ভোল্ট প্রয়োজন। 2 ওহম্ অন্তঃরোধ বিশিষ্ট কত তড়িচ্চালক বলের ব্যাটারীকে এই বাতির সহিত ব্যবহার করিতে হইবে?

$$C = \frac{V}{R}$$

$$\therefore\ C = \frac{12}{10} = 1{\cdot}2 \text{ অ্যাম্পিয়ার।}$$

$$C = \frac{E}{R + r}, \text{ অথবা } 1{\cdot}2 = \frac{E}{10 + 2}$$

$$\therefore\ E = 14{\cdot}4 \text{ ভোল্ট।}$$

(g) 1,2 এবং 4 ওহ্মের তিনটি পরিবাহীকে একটি লেক্লান্শে কোষের সহিত শ্রেণী সমবায়ে সাজাইয়া 0·2 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ পাওয়া যায়। কোষের অন্তঃরোধ উপেক্ষা করিলে তড়িচ্চালক বল কত?

পরিবাহীগুলির মোট রোধ $= 1 + 2 + 4 = 7$ ওহ্ম।

$$\therefore\ C = \frac{E}{R + r} \text{ হইতে,}$$

$$0{\cdot}2 = \frac{E}{7 + 0} \quad \therefore\ E = 1{\cdot}4 \text{ ভোল্ট।}$$

(h) 4 ওহ্ম রোধের সহিত শ্রেণীবদ্ধ ভাবে কত ওহ্ম যুক্ত করিলে উহাদের সহিত যুক্ত একটি গ্যালভানোমিটার 10 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল দ্বারা 2 অ্যাম্পিয়ার পাঠ দিবে? (গ্যালভানোমিটারের রোধ $= 0{\cdot}5$ ওহ্ম)।

মনে কর, অজ্ঞাত রোধর মান $= r$।

ব্যাটারীর অন্তঃরোধ শূন্য ধরিতে হইবে।

তাহা হইলে বর্তনীর মোট রোধ $= 4 + r + 0{\cdot}5 = 4{\cdot}5 + r$ ওহ্ম।

$$\therefore\ C = \frac{E}{R},$$

অথবা $2 = \frac{10}{4.5 + r}$

$\therefore$ $2r + 9 = 10$, অথবা $r = 0.5$ ওহ্‌ম।

(*i*) 2 ভোল্‌ট তড়িচ্চালক বল ও 0·5 ওহম রোধের একটি কোষকে 1, 2 ও 3 ওহম রোধের তিনটি তারের সহিত যুক্ত করা হইল। রোধগুলি পরপর শ্রেণীবদ্ধভাবে সাজানো হইলে মধ্যের তারের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য কত ?

তড়িচ্চালক বল = 2 ভোলট।

মোট বহিঃরোধ = 1 + 2 + 3 = 6 ওহ্‌ম।

$C = \frac{E}{R + r} = \frac{2}{6 + 0.5} = \frac{2}{6.5}$ অ্যাম্পিয়ার।

মধ্যের তারের রোধ $R' = 2$ ওহ্‌ম।

$\therefore$ উহার প্রান্তের বিভব-বৈষম্য $CR' = 2 \times \frac{2}{6.5}$

$= 0.615$ ভোল্‌ট।

(*j*) কোন কোষের সহিত 3, 4 ও 5 ওহম রোধের তিনটি সমান্তরাল ভাবে সজ্জিত বাতি যুক্ত করিলে মোট 4·7 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হয়। কোষের বিভব-বৈষম্য ও বাতিগুলির প্রত্যেকের মধ্যে প্রবাহের মান কত ?

বাতিগুলির মোট রোধ R হইলে,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} = \frac{47}{60}$$

$\therefore$ $R = \frac{60}{47}$ ওহ্‌ম।

$\therefore$ বিভব-বৈষম্য $V = CR = 4.7 \times \frac{60}{47} = 6$ ভোলট্।

3 ওহ্‌ম রোধের বাতির প্রান্তের বিভব-বৈষম্য 6 ভোল্‌ট,

$\therefore$ প্রবাহ $= \frac{6}{3} = 2$ অ্যাম্পিয়ার।

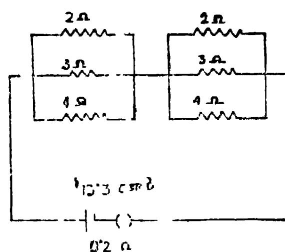
4 ওহ্‌ম রোধের বাতির প্রান্তের বিভব-বৈষম্য 6 ভোল্‌ট,

$\therefore$ প্রবাহ $= \frac{6}{4} = 1.5$ অ্যাম্পিয়ার।

6 ওহ্‌ম রোধের বাতির প্রান্তের বিভব-বৈষম্য 6 ভোল্ট,

$\therefore$ প্রবাহ $=\frac{6}{5}=1{\cdot}2$ অ্যাম্পিয়ার।

(*k*) 2, 3 ও 4 ওহ্‌ম রোধের তিনটি তার পরস্পর সমান্তরাল ভাবে সজ্জিত। এইরূপ দুটি সজ্জাকে আবার শ্রেণীবদ্ধ ভাবে একটি 13·3 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 0·2 ওহ্‌ম অন্তঃরোধ বিশিষ্ট ব্যাটারীর সহিত যুক্ত করা হইল। ব্যাটারীতে কত প্রবাহ হইবে? চিত্র নং 2 21



2·21

একটি সমান্তরাল সমবায়ের রোধ R হইলে,

$$\frac{1}{R'}=\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}=\frac{6+4+3}{12}=\frac{13}{12}$$

$\therefore$ $R'=\frac{12}{13}$ ওহ্‌ম।

এইরূপ দুইটি সমান্তরাল সমবায় শ্রেণীবদ্ধ করিলে মোট রোধ $R=2R'$

$$=2\times\frac{12}{13}=\frac{24}{13}$$ ওহ্‌ম।

$\therefore$ প্রবাহ $C=\frac{E}{R+r}=\frac{13{\cdot}3}{\frac{24}{13}+0{\cdot}2}=\frac{13{\cdot}3}{\frac{24+2{\cdot}6}{13}}$

$$\frac{13{\cdot}3}{26{\cdot}6/13}=6{\cdot}5$$ অ্যাম্প।

(*l*) একটি তারের রোধ প্রতি মিটারে 0·203 ওহ্‌ম। তারটির প্রস্থচ্ছেদ 0·016 ব. সেমি. হইলে উহার রোধাংক কত?

$R=\rho.\frac{l}{A}$ সংকেত হইতে

$$\rho=\frac{R.A}{l}=\frac{0{\cdot}203\times0{\cdot}016}{100}=32{\cdot}48\times10^{-6}$$ ওহ্‌ম-সেমি.।

(*m*) প্ল্যাটিনামের রোধাংক 9×10^{-6} ওহ্‌ম-সেমি.। 1 মিমি. ব্যাসের কত দীর্ঘ প্ল্যাটিনাম তার দ্বারা 1 ওহ্‌ম রোধ-কুণ্ডলী নির্মাণ করা যাইবে?

তারের প্রস্থচ্ছেদ $=\frac{\pi d^2}{4}=\pi\times\frac{{\cdot}1^2}{4}=\pi\times\frac{{\cdot}01}{4}$ ব. সেমি.।

$\therefore \quad R = \rho . \frac{l}{A}$ সংকেত হইতে,

$$l = \frac{RA}{\rho} = \frac{1 \times \frac{\pi}{4} \times \cdot 01}{9 \times 10^{-6}} = 872 \cdot 8 \text{ সেমি.।}$$

(n) 50 সেমি. দীর্ঘ ও 0·1 মিমি. ব্যাসের একটি তার দিয়া 5 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হইতেছে। তারের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য 10 ভোল্ট হইলে তারের রোধাংক কত ?

$C = \frac{V}{R}$ সংকেত হইতে,

$R = \frac{V}{C} = \frac{10}{5} = 2$ ওহ্‌ম।

$R = \rho . \frac{l}{A}$ সংকেতে, $R = 2$ ওহ্‌ম $l = 50$ সেমি.,

$A = \pi \times \frac{\cdot 01^2}{4}$ ব. সেমি.।

$$\therefore \quad \rho = \frac{RA}{l} = \frac{2 \times \pi \times \cdot 01^2}{4 \times 50} = 3 \cdot 142 \times 10^{-6} \text{ ওহ্‌ম-সেমি.।}$$

(o) প্রত্যেকটি 8 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল বিশিষ্ট তিনটি কোষ শ্রেণী সমবায়ে একটি 0·4 ওহ্‌ম রোধের সহিত যুক্ত হইলে 3 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ হয়। একটি কোষকে সরাইয়া লইয়া প্রবাহের পরিমাণ হইল 2·5 অ্যাম্পিয়ার। যে কোষকে সরাইয়া লওয়া হইল তাহার অন্তঃরোধ কত ?

মনে কর কোষ তিনটির অন্তঃরোধ r_1, r_2 ও r_3।

$\therefore$ মোট অন্তঃরোধ $= r_1 + r_2 + r_3$

এবং মোট তড়িচ্চালক বল $= 3 \times 8 = 24$ ভোল্ট।

$$\therefore \quad \text{প্রবাহ} = 3 = \frac{24}{r_1 + r_2 + r_3 + 0 \cdot 4}$$

$\therefore \quad 3(r_1 + r_2 + r_3) + 1 \cdot 2 = 24$, অথবা $3(r_1 + r_2 + r_3) = 22 \cdot 8$

$\therefore \quad r_1 + r_2 + r_3 = 7 \cdot 6$ ওহ্‌ম।

r_3 রোধের কোষকে সরাইয়া লইলে

$$\text{প্রবাহ } 2 \cdot 5 = \frac{2 \times 8}{r_1 + r_2 + 0 \cdot 4}$$

$\therefore \quad 2{\cdot}5(r_1 + r_2) + 1 = 16$

$\therefore \quad 2{\cdot}5(r_1 + r_2) = 15$, অথবা $r_1 + r_2 = 6$ ওহ্ম।

$\therefore \quad r_3 = 7{\cdot}6 - 6 = 1{\cdot}6$ ওহ্ম।

(*p*) 4 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 2 ওহ্ম রোধ বিশিষ্ট 10-টি কোষ কি ভাবে সাজাইলে 5 ওহ্ম একটি রোধের ভিতরে সর্বোচ্চ প্রবাহ পাওয়া যাইবে ?

মনে কর *n*-টি কোষকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিয়া এইরূপ *m*-টি শ্রেণী সমান্তরাল সজ্জায় ব্যবহার করা হইল।

$\therefore$ মোট কোষের সংখ্যা $10 = m \times n$।

প্রতি শ্রেণীর মোট তড়িচ্চালক বল $= n \times 4 = 4n$ ভোল্ট।

প্রতি শ্রেণীর মোট অন্তঃরোধ $= n \times 2 = 2n$ ওহ্ম।

এইরূপ *m*-টি সমান্তরাল শ্রেণীর জন্য মোট তড়িচ্চালক বল $= 4n$ ভোল্ট

মোট অন্তঃরোধ $= \frac{2n}{m}$।

$$\therefore \text{ প্রবাহ } C = \frac{4n}{\frac{2n}{m} + 5}\text{।}$$

সর্বোচ্চ প্রবাহের জন্য বহিঃরোধ = অন্তঃরোধ হইতে হইবে।

$$\therefore \quad \frac{2n}{m} = 5,$$

অথবা $2n = 5m \quad \therefore \quad m = \frac{2n}{5}$

আবার $mn = 10$

$$\therefore \quad \frac{2}{5} n.n = 10$$

$$\therefore \quad n = 5, \quad m = 2\text{।}$$

অর্থাৎ 5-টি কোষের শ্রেণী সমবায় গঠন করিয়া এইরূপ দুইটি শ্রেণীকে সমান্তরাল ভাবে ব্যবহার করিলে সর্বোচ্চ প্রবাহ পাওয়া যাইবে।

$$\therefore \text{ প্রবাহ } C = \frac{4n}{\frac{2n}{m} + 5} = \frac{4 \times 5}{\frac{2 \times 5}{2} + 5} = \frac{20}{10} = 2 \text{ অ্যাম্পিয়ার।}$$

(*q*) তোমাকে 1·8 ভোল্‌ট তড়িচ্চালক বল ও 0·3 ওহ্‌ম রোধের 48-টি কোষ দেওয়া হইয়াছে। 5 ওহ্‌ম রোধের এক পরিবাহীতে সর্বোচ্চ প্রবাহ সৃষ্টির জন্য ইহাদের কি ভাবে ব্যবহার করিবে? (C U. 1 39,56)

মনে কর, *n*-টি কোষকে শ্রেণী সমবায়ে বসা'না হইল, এবং এইরূপ *m*টি শ্রেণী পাওয়া গেল।

∴ প্রতিটি কোষের অন্তঃরোধ *r* হইলে, মোট অন্তঃবোধ

$$=\frac{nr}{m}$$

∴ সর্বোচ্চ প্রবাহের জন্য, $R=\frac{nr}{m}$,

অথবা $5=\frac{n\times\cdot 3}{m}$

∴ $5m=\cdot 3n$, বা $n=\frac{5m}{\cdot 3}$

আবার, $m\times n=48$।

∴ $m\times\frac{5m}{\cdot 3}=48$

∴ $m^2=2\cdot 88$, বা $m=1\cdot 7$।

কিন্তু, শ্রেণীর সংখ্যা ভগ্নাংশ হইতে পারে না ; ∴ $m=2$, এবং $n=24$।

∴ প্রবাহ $C=\frac{nE}{R+\frac{nr}{m}}=\frac{24\times 1\cdot 8}{5+\frac{24\times\cdot 3}{2}}$

$$=\frac{24\times 1\cdot 8}{5\times 3\cdot 6}=5\cdot 02$$ অ্যাম্পিয়ার।

(*r*) 1·5 ভোল্‌ট তড়িচ্চালক বল ও 0·2 ওহ্‌ম রোধের 4-টি কোষের শ্রেণীবদ্ধ এক ব্যাটারী কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া 0·4 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ দেয়। এরপর কোষগুলিকে সমান্তরাল সমবায়ে সাজাইয়া প্রবাহ পাঠানো হইল। এইবার প্রবাহ কত হইবে? দুই ক্ষেত্রে পরিবাহীর প্রান্তদ্বয়ের বিভব-বৈষম্য বাহির কর। (C.U. 1955)

(i) শ্রেণী সমবায়ের ক্ষেত্রে, মোট তড়িচ্চালক বল $=nE=4\times 1\cdot 5$ $=6$ ভোল্‌ট। মোট অন্তঃরোধ $=nr=4\times\cdot 2=\cdot 8$ ওহ্‌ম।

$\therefore\quad C = \dfrac{nE}{R + nr}$ হইতে,

$$\cdot 4 = \frac{6}{R + \cdot 8} \quad \therefore \quad R = 14\cdot 2 \text{ ওহ্‌ম্।}$$

$\therefore$ পরিবাহীর প্রান্তদ্বয়ের বিভব-বৈষম্য $= C.R = 14\cdot 2 \times \cdot 4$

$= 5\cdot 68$ ভোল্ট।

(ii) সমান্তরাল সমবায়ের ক্ষেত্রে, মোট তড়িচ্চালক বল $= E$

$= 1\cdot 5$ ভোল্ট।

মোট অন্তঃরোধ $= \dfrac{r}{n} = \dfrac{\cdot 2}{4} = 0\cdot 05$ ওহ্‌ম।

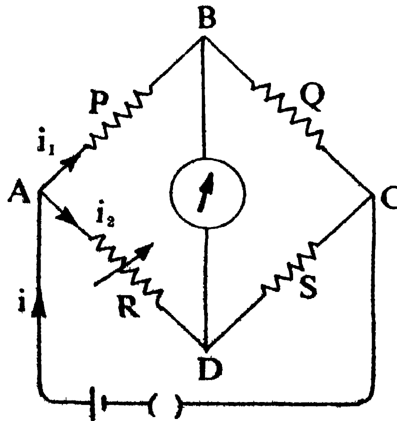
$$\therefore \text{ প্রবাহ } C' = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} = \frac{1\cdot 5}{14\cdot 2 + \cdot 05} = \frac{1\cdot 5}{14\cdot 25 + \cdot 05} = \frac{1\cdot 5}{14\cdot 25}$$

$= \dfrac{2}{19}$ অ্যাম্পিয়ার।

$\therefore$ পরিবাহীর প্রান্তদ্বয়ের বিভব-বৈষম্য $= C'R = \dfrac{2}{19} \times 14\cdot 2$

$= 1\cdot 49$ ভোল্ট।

(c) চারিটি রোধ P, Q, R, S-কে চিত্র নং 2·22-এর ন্যায় সামন্তরিকে



2·22

সাজানো হইয়াছে। ইহাদের মধ্যে R রোধের মান পরিবর্তনীয়। প্রমাণ

কর যে R-কে পরিবর্তন করিতে করিতে যদি এমন অবস্থা পাওয়া যায় যে B ও D-এর মধ্যে সংযুক্ত গ্যালভানোমিটারে কোন প্রবাহ থাকিবে না, তখন

$$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S}\text{।}$$

মূল প্রবাহ i, ABC ও ADC দুইটি সমান্তরাল শাখায় ভাগ হইয়া গিয়াছে। যখন B ও D-এর মধ্যের গ্যালভানোমিটারে কোন প্রবাহ থাকিবে না, তখন স্বভাবতঃ B ও D একই বিভবে থাকে। অতএব, এই অবস্থায়,

A ও B-এর মধ্যে বিভব-পতন = A ও D-এর মধ্যে বিভব-পতন···(i),
আবার B ও C-এর মধ্যে বিভব-পতন = D ও C-এর মধ্যে বিভব-পতন···(ii)

প্রথম সর্ত হইতে,

$$P.i_1=R.i_2$$

অথবা $$\frac{i_1}{i_2}=\frac{R}{P} \qquad \cdots \qquad \cdots\text{(iii)}$$

দ্বিতীয় সর্ত হইতে, $Q.i_1=S.i_2$ (B ও D-এর মধ্যে কোন প্রবাহ না থাকায় BC পরিবাহীতে প্রবাহ i_1 এবং DC পরিবাহীতে প্রবাহ i_2 থাকে)।

অর্থাৎ, $$\frac{i_1}{i_2}=\frac{S}{Q} \qquad \cdots \qquad \cdots\text{(iv)}$$

অতএব, $$\frac{R}{P}=\frac{S}{Q},$$

কিংবা $$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S}\text{।}$$

বিশেষ দ্রষ্টব্য : এই নীতি অবলম্বন করিয়া কোন রোধের মান নির্ণয় করা চলে। S-কে অজ্ঞাত ধরিলে, $S=\frac{Q}{P}.R$। এই নীতিকে হুইটস্টোনের ব্রীজ নীতি (Wheatstone's Bridge Principle) বলা হয়।

(*i*) তোমাকে 1, 2 ও 3 ওহ্‌ম্ রোধের তিনটি তার দেওয়া হইয়াছে। ছবি আঁকিয়া দেখাও উহাদের বিভিন্ন উপায়ে কি ভাবে যুক্ত করা যায়। প্রত্যেক ক্ষেত্রে তুল্য রোধ বাহির কর। (H.S. Tech. 1961)

1. শ্রেণী সংযোগ

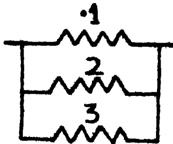
মোট রোধ

$=1+2+3=6$ ওহ্ম।



2·23 (a)

2. সমান্তরাল সজ্জা



2·23 (b)

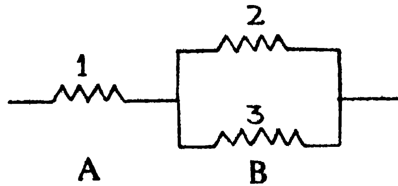
মোট রোধ R হইলে,

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}=\frac{6+3+2}{6}=\frac{11}{6}$$

$$\therefore\ R=\frac{6}{11}\text{ ওহ্ম।}$$

3. মিশ্র সংযোগ

(i)

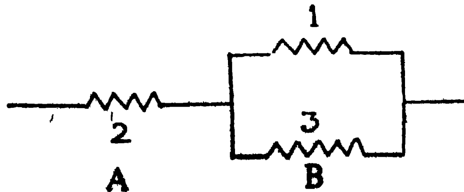


2·23 (c)

$$\text{B অংশের রোধ}=\frac{1}{\frac{1}{2}+\frac{1}{3}}=\frac{1}{\frac{5}{6}}=\frac{6}{5}\text{ ওহ্ম।}$$

$$\therefore\ \text{মোট রোধ}=1+\frac{6}{5}=\frac{11}{5}\text{ ওহ্ম।}$$

(ii)

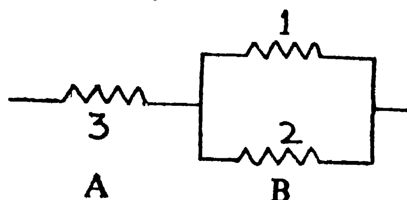


2·23 (d)

$$\text{B অংশের রোধ}=\frac{1}{\frac{1}{1}+\frac{1}{3}}=\frac{1}{\frac{4}{3}}=\frac{3}{4}\text{ ওহ্ম।}$$

$\therefore$ মোট রোধ $= 2 + \frac{3}{4} = \frac{11}{4}$ ওহ্‌ম।

(iii)

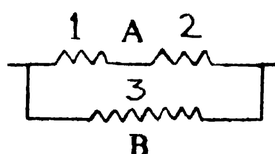


2·23 (e)

B অংশের রোধ $= \frac{1}{\frac{1}{1}+\frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3}$ ওহ্‌ম

$\therefore$ মোট রোধ $= 3 + \frac{2}{3} = \frac{11}{3}$ ওহ্‌ম।

(iv)



2·23 (f)

A অংশের রোধ $= 1 + 2 = 3$ ওহ্‌ম।

$\therefore$ মোট রোধ $= \frac{1}{\frac{1}{3}+\frac{1}{3}}$

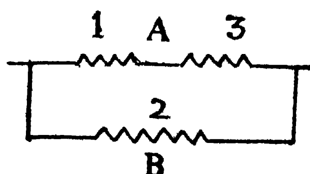
$= \frac{1}{\frac{2}{3}} = \frac{3}{2}$ ওহ্‌ম।

(v)

A অংশের রোধ $= 1 + 3 = 4$ ওহ্‌ম।

$\therefore$ মোট রোধ $= \frac{1}{\frac{1}{4}+\frac{1}{2}}$

$= \frac{1}{\frac{3}{4}} = \frac{4}{3}$ ওহ্‌ম।



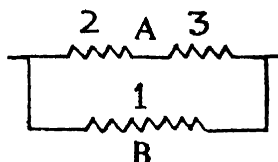
2·23 (g)

(vi)

A অংশের রোধ $= 2 + 3 = 5$ ওহ্‌ম।

$$\therefore \text{ মোট রোধ } = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{5}}$$

$$= \frac{1}{\frac{6}{5}} = \frac{5}{6} \text{ ওহ্‌ম।}$$



2·23 (b)

2.21. **আলেসান্দ্রো ভোল্‌টা (Alessandro Volta) :** (1745-1827) —ইটালীর এই পদার্থবিদ্‌কে তড়িৎ শাস্ত্রের অন্যতম জনক বলিয়া মনে করা হয়। তিনি 1774 সালে কোমোর জিমনাসিয়ামে (কলেজ), এবং 1779 সালে পাভিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ে পদার্থবিদ্যার অধ্যাপক নিযুক্ত হন। নেপোলিয়ন তাঁহাকে 1801 সালে প্যারিসে তাঁহার পরীক্ষা দেখাইবার জন্য ডাকিয়া পাঠান।

ভোল্‌টার নামেই তড়িৎ-বিভবের একটি এককের নাম ভোল্ট হইয়াছে।

2.22. **আঁদ্রে মারি আঁপের (Andre' Marie Ampe're)** (1775-1836) **:** এই ফরাসী পদার্থবিদের ১৮ বৎসর বয়সে তাঁহার পিতা মৃত্যু দণ্ডে দণ্ডিত হন। সেই আঘাত বহুদিন ইঁহাকে মনমরা করিয়া রাখিয়াছিল। অবশেষে 1801 সনে তিনি বুর্গ-এ পদার্থবিদ্যা ও রসায়নের অধ্যাপক হিসাবে কাজ আরম্ভ করেন। 1809 সালে পারীর একোল পলিটেকনিক (Polytechnic School) বিদ্যালয়ে তিনি গণিতের অধ্যাপক হিসাবে যোগদান করেন ও তাঁহার আবিষ্কারের স্বর্ণযুগ আরম্ভ হয়।

ওরস্টেডের চুম্বক ও প্রবাহের সম্বন্ধে পরীক্ষার কথা শুনিয়া তিনি 1820 সালে প্যারিসের বিজ্ঞান অ্যাকাডেমীতে এই পরীক্ষার সম্বন্ধে ব্যাখ্যা করিয়া তথ্য দেন। ক্রমে ক্রমে গণিতের সাহায্যে তড়িৎচুম্বকীয় তত্ত্ব সম্বন্ধে তিনি এত বিস্তৃত আলোচনা করেন যাহা ভবিষ্যতের বহু গবেষণার আভাস দেয়। তাঁহার গবেষণাবলী Annals of Chemistry & Physics পত্রিকায় 1820-1828 সালে ধারাবাহিক ভাবে প্রকাশিত হয়। গণিতের অন্যান্য শাখায়ও তাহার বহু তথ্য Essay on the Philosophy of Sciences প্রবন্ধে, এবং Journal of the Ecole Polytechnic-এ প্রকাশিত হয়।

ব্যক্তিগত জীবনে এই বিজ্ঞানী ছিলেন সরল ও মধুর-স্বভাব।

প্রশ্নমালা

1. ওহ্‌মের সূত্র বর্ণনা কর। ইহা কিরূপে পরীক্ষা করিবে?

State Ohm's Law. How would you verify it? (C.U. 1925, 36, 39, 52, 53, 55, 56; Pat. 1943)

2. ওহ্‌মের সূত্র বর্ণনা কর। ইহা হইতে কিরূপে রোধের ধারণা জন্মে?

State Ohm's Law. Describe how it leads to the definition of resistance. (Mad. 1932, 36; Pat. 1946)

3. প্রবাহ, বিভব-বৈষম্য ও রোধের ব্যবহারিক একক কি? ইহাদের সংজ্ঞা দাও।

What are the practical units of current, potential difference, and resistance? Define them. (C.U. 1929; U.P.B. 1947)

4. তড়িচ্চালক বল ও বিভব-বৈষম্যের পার্থক্য বুঝাইয়া দাও।

Explain the difference between electromotive force and potential difference.

5. একটি 4 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল বিশিষ্ট কোষের অন্তঃরোধ 3 ওহ্‌ম। ইহা 9 ওহ্‌ম রোধের একটি পরিবাহীর দুই প্রান্তে যুক্ত হইল। প্রবাহের মাত্রা কত? [0·33 অ্যাম্প]

The terminals of a battery of E. M. F. 4 volts and internal resistance 3 ohms are connected to a conductor of resistance 9 ohms. Find the current strength. (C.U. 1926)

6. 1·4 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 0·5 ওহ্‌ম রোধ বিশিষ্ট একটি কোষের সহিত 12 ওহ্‌ম ও 7·5 ওহ্‌ম রোধের দুইটি তার শ্রেণী সজ্জায় যুক্ত আছে। প্রবাহের পরিমাণ কত? [0·07 অ্যাম্প]

Two wires of resistances 12 & 7·5 ohms respectively are connected in series to a cell of E. M. F. 1·4 volts & 0·5 ohms internal resistance. Find the current strength.

7. প্রতিটি 50 ওহ্‌ম রোধের দুইটি বাতি শ্রেণী সজ্জায় অবস্থিত 100টি কোষের সহিত শ্রেণীতে যুক্ত আছে। প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল 1·5 ভোল্ট ও অন্তঃরোধ 1 ওহ্‌ম হইলে প্রতিটি বাতিতে প্রবাহের মাত্রা কত? [0·75 অ্যাম্প]।

Two lamps each of resistance 50 ohms are arranged in series with 100 cells, all joined in series. If the internal resistance of each cell be 1 ohm and e.m.f. 15 volts, calculate the current in the lamps. (H.S. 1960)

8. প্রতিটি 2 ওহ্ম অন্তঃরোধ ও 1·5 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট দুইটি রোধকে শ্রেণীবদ্ধ সজ্জায় 6 ওহ্ম রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের সহিত যুক্ত করা হইল। প্রবাহের মাত্রা কত? [0·3 অ্যাম্প]

Two cells each having an e.m.f. of 1·5 volt and internal resistance 2 ohms are connected in series with a galvanometer of resistance 6 ohms. Find the current.

9. প্রতিটি 0·2 ওহ্ম রোধ ও 1·7 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলের চারিটি রোধের শ্রেণীবদ্ধ একটি ব্যাটারী একটি বহিঃরোধের ভিতর দিয়া 0·4 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ দিতেছে। রোধটির মান কত, এবং উহার দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য কত? [16·2 ওহ্ম, 6·48 ভোল্ট]

A battery of 4 cells in series, each of e.m.f. 1·7 volts and internal resistance 0·2 ohms, sends a current of 0·4 ampere through an external resistance. What is the value of the resistance and what is the P.D. between its ends ? (C. U. 1948)

10. 2 ওহ্ম ও 5 ওহ্ম রোধের দুইটি তারকে সমান্তরাল সজ্জায় 2 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল-বিশিষ্ট একটি কোষের সহিত যুক্ত করা আছে। কোষের অন্তঃরোধ উপেক্ষা করা হইলে কোষের ভিতরে প্রবাহের মাত্রা কত? [1·4 অ্যাম্প]

Two wires of resistances 2 & 5 ohms are joined in parallel and connected to a cell of e.m.f 2 volts. If the internal resistance be neglected, what is the value of the current ?

11. 50 ওহ্ম রোধবিশিষ্ট 5টি বাতি সমান্তরাল সজ্জায় একটি 240 ভোল্ট ব্যাটারির সহিত যুক্ত আছে। ব্যাটারির মধ্যে ও প্রতিটি বাতির মধ্যে প্রবাহের মাত্রা কত? [24 অ্যাম্প, 4·8 অ্যাম্প]।

Five lamps, each of resistance 50 ohms, are joined in parallel to a battery of 240 volts. Find the current in (i) the battery, (ii) each lamp.

12. একটি 2 ওহ্ম ও একটি 3 ওহ্ম রোধের দুইটি তার সমান্তরাল

ভাবে একটি কোষের সহিত যুক্ত আছে। কোষের তড়িচ্চালক বল 2·2 ভোল্ট ও অন্তঃরোধ 1 ওহ্‌ম হইলে কোষে কত প্রবাহ বহিতেছে ?

[1 অ্যাম্প]

A 2 ohm and a 3 ohm resistance wires are connected in parallel and joined to a cell of e.m.f. 2·2 volts and internal resistance 1 ohm. Find the current through the battery.

13. উপরের অনুশীলনে কোষের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য, এবং প্রতিটি রোধের ভিতরে প্রবাহ-মাত্রা বাহির কর।

[1·2 ভোল্ট, 2 ওহ্‌মে 0·6 অ্যাম্প, অন্যটিতে 0·4 অ্যাম্প]

In the above example, find the P.D. across the terminals of the cell, and the currents through the resistances.

14. একটি 45 ওহ্‌ম রোধের গ্যালভানোমিটারের সহিত সমান্তরালভাবে একটি 5 ওহ্‌ম রোধ যুক্ত আছে। গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তের মধ্যে রোধ কত ? এই দুই প্রান্তে 22·5 ভোল্ট বিভব-বৈষম্য স্থাপিত হইলে গ্যালভানোমিটারের মধ্যে প্রবাহের মাত্রা কত ? [4·5 ওহ্‌ম, 0·5 অ্যাম্প]

A galvanometer of 45 ohms resistance is shunted by a resistance of 5 ohms. Find the equivalent resistance and the current flowing through the galvanometer when a p.d. of 22·5 volts is maintained between its terminals. (C.U. 1952)

15. সমান্তরালভাবে সজ্জিত 2 ও 3 ওহ্‌ম রোধের দুইটি তারকে 4 ওহ্‌ম রোধের একটি তৃতীয় তারের সহিত শ্রেণী সজ্জায় যুক্ত করা হইল। এই সংযোগের দুই প্রান্তে একটি ব্যাটারি যুক্ত করিলে মূল প্রবাহের মাত্রা হয় 0·5 অ্যাম্প। ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল ও প্রান্তের বিভব বৈষম্য কত ? ব্যাটারির রোধ 0·8 ওহ্‌ম। [3 ভোল্ট, 2·6 ভোল্ট]।

Two wires of resistances 2 & 3 ohms, connected in parallel, are connected in series with a third wire of resitance 4 ohms. When the circuit is completed with a battery, the main current is 0·5 amp. Calculate the terminal voltage of the battery, as also its e.m.f. The internal resistance of the battery is 0·8 ohm.

16. একটি 240 ওহ্‌ম রোধের গ্যালভানোমিটারের সমান্তরাল ভাবে একটি 10 ওহ্‌ম রোধের শাণ্ট যুক্ত আছে। মূল প্রবাহ 5 অ্যাম্প হইলে

গ্যালভানোমিটার ও শান্টের মধ্যে প্রবাহ কত? [গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ = 0·2 অ্যাম্প, শান্টের প্রবাহ = 4·8 অ্যাম্প]।

A galvanometer of 240 ohms resistance is shunted with a resistance of 10 ohms. If the main current be 5 amps, find the currents through the galvanometer and the shunt.

17. প্রতিটি 10 ওহ্‌ম রোধের পাঁচটি বাতি সমান্তরালভাবে যুক্ত আছে। 20 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 0·3 ওহ্‌ম রোধের একটি ব্যাটারির সহিত শ্রেণী সজ্জায় একটি অ্যাম্‌মিটার (রোধ 0·2 ওহ্‌ম) ব্যাটারির দ্বারা যুক্ত বাতিগুলিতে প্রবাহ চলিতেছে। কত প্রবাহ দেখাইবে? প্রতিটি বাতির প্রবাহ-মাত্রা কত? [8 অ্যাম্প, 1·6 অ্যাম্প]।

Five lamps each of resistance 10 ohms are joined in parallel. A battery of e.m.f. 20 volts and resistance 0·3 ohms, connected in series with an ammeter of resistance 0·2 ohm, sends current through the combination. Find the current through the ammeter, and the current through each lamp.

18. তিনটি 2 ওহ্‌ম, 3 ওহ্‌ম ও 5 ওহ্‌ম রোধের তারকে 6 ভোল্ট ও 4 ভোল্ট তড়িচ্চালক বলের শ্রেণী বদ্ধ ভাবে সজ্জিত দুইটি কোষের সহিত যুক্ত করা হইল। প্রবাহের পরিমাণ কত? [1 অ্যাম্প]।

Three resistances of 2 ohms, 3 ohms and 5 ohms are connected with two cells of e.m.f.s 6 volts and 4 volts connected in series. Find the current in the circuit.

19. 5 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহকে তিনটি শাখায় বিভক্ত করা হইয়াছে। শাখা তিনটিতে পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের অনুপাত 1 : 2 : 3। প্রতিটি শাখার প্রবাহ কত? (পরিবাহীগুলি একই ধাতুতে তৈয়ারী ও উহাদের প্রস্থচ্ছেদ সমান)। [2·72 অ্যাম্প, 1·36 অ্যাম্প, এবং 0·91 অ্যাম্প প্রায়]

An electric current of 5 amperes is divided into three branches, the lengths of the wire in the three branches being proportional to 1 : 2 : 3. Find the current in each branch. (The wires are of the same material and same cross section).

(C. U. 1929)

20. তিনটি পরিবাহীর রোধ যথাক্রমে 2, 4, এবং 2 ওহ্‌ম। ইহাদের

বিপরীত মুখে সংযুক্ত দুইটি কোষের সহিত শ্রেণীবদ্ধভাবে যুক্ত করা হইয়াছে। কোষ দুইটির তড়িচ্চালক বল 6 ভোল্ট হইলে প্রবাহের মাত্রা কত? [0·5 অ্যাম্প]।

Three resistances of 2 ohms, 4 ohms, and 2 ohms are connected with two cells whose e.m.f.'s are in opposition. If the e.m.f.'s be 6 volts and 2 volts, find the current in the circuit.

21. একটি 24 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 0·2 ওহ্‌ম অন্তঃরোধ বিশিষ্ট ব্যাটারিকে 5·8 ওহ্‌ম রোধের একটি পরিবাহীর সহিত যুক্ত করা হইয়াছে। রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য কত? [23·2 ভোল্ট]

A battery of e.m.f. 24 volts and internal resistance 0·2 ohm is connected with a resistance of 5·8 ohms. What is the p.d. across the resistance ?

22. একটি ব্যাটারী অসংযুক্ত অবস্থায় 6 ভোল্ট বিভব-বৈষম্য দেখায়, এবং উহা যখন 2 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ দেয় তখন উহার প্রান্তীয় বিভব-বৈষম্য 4 ভোল্ট। উহার অন্তঃরোধ কত? [1 ওহ্‌ম]।

A battery on open circuit has a terminal p.d of 6 volts, and when sending a current of 2 amps has a p.d. across its terminals of 4 volts. Find its internal resistance.

23. প্রতিটি 2 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 1 ওহ্‌ম অন্তঃরোধ বিশিষ্ট চারিটি কোষের প্রতি জোড়াকে শ্রেণী সজ্জায় বসাইয়া দুইটি শ্রেণীকে সমান্তরালভাবে যুক্ত করা হইল। এই ব্যাটারিকে একটি 15 ওহ্‌ম রোধের সহিত যুক্ত করিলে কোষগুলি ও রোধে কত প্রবাহ হইবে?

[প্রতিটি কোষে $\frac{1}{8}$ অ্যাম্প, রোধে $\frac{1}{4}$ অ্যাম্প]।

Four cells each of e.m.f. 2 volts and internal resistance 1 ohm, are arranged in parallel in two equal groups and connected to a wire of resistance 15 ohms. Find the current through the cells and the resistance.

24. প্রতিটি 2 ওহ্‌ম অন্তঃরোধ বিশিষ্ট 24টি কোষকে 3 ওহ্‌ম বহিঃরোধের ভিতর দিয়া সর্বোচ্চ প্রবাহের জন্য ব্যবহার করিতে কোষগুলি কি ভাবে সাজাইতে হইবে?

[প্রতি শ্রেণীতে 6টি কোষ লইয়া 4টি সমান্তরাল সজ্জা]।

Find the best arrangement of twenty-four cells each having an internal resistance 2 ohms, required to send current through an internal resistance of 3 ohms, (C. U. 1930).

25. 1·25 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 2 ওহ্ম রোধ বিশিষ্ট সর্বাপেক্ষা কম সংখ্যক কতগুলি কোষের সাহায্যে একটি 30 ওহ্ম রোধে 0·5 অ্যাম্প প্রবাহ চালানো যাইবে ? [60টি]।

Determine the minimum number of cells required to send a current of 0·5 amp through a circuit of resistance 30 ohms, if each cell has an e. m. f. of 1·25 volts and reistance 2 ohms. (C U. 1925)

26. চারিটি কোষের প্রতিটির তড়িচ্চালক বল 2 ভোল্ট ও অন্তঃরোধ 1 ওহ্ম। 10 ওহ্ম রোধের একটি বর্তনীর ভিতর দিয়া সর্বোচ্চ কত প্রবাহ পাঠানোর জন্য এই কোষগুলিকে ব্যবহার করা যায় ? [0·57 অ্যাম্প]।

You are to use 4 cells of e. m. f. 2 volts and internal resistance 1 ohm each to send the maximum current through a resistance of 10 ohms. Find the value of the current. (C.U. 1931)

27. কি ভাবে 10টি কোষকে সাজাইলে 5 ওহ্ম রোধের বর্তনীতে সর্বোচ্চ প্রবাহ পাওয়া যাইবে ; প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল 4 ভোল্ট ও অন্তঃরোধ 2 ওহ্ম। [5টি শ্রেণীবদ্ধ কোষের দুইটি সমান্তরাল সজ্জা]।

How can you arrange 10 cells of c. m. f. 4 volts and internal resistance 2 ohms each so that the current will be maximum through a circuit of resistance 5 ohms ?

28. প্রতিটি 50 ওহ্ম রোধের দুইটি বাতিকে শ্রেণীবদ্ধ ভাবে শ্রেণীসজ্জায় সজ্জিত 100টি কোষের সহিত যুক্ত করিলে বাতি দুইটিতে কত প্রবাহ চলিবে ? প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল 1·5 ভোল্ট ও অন্তঃরোধ 1 ওহ্ম।

[0·75 অ্যাম্প]।

Two lamps, each of resistance 50 ohms are arranged in series with 100 cells, all joined in series. If the intenal resistance of each cell be 1 ohm and e. m. f. 1·5 volts, find the current in the lamps. (H.S. 1961)

29. পরিবাহীর রোধাংক কাহাকে বলে ? ইহার সহিত পরিবাহীর রোধের সম্বন্ধ কি ? ইহার একক নির্দেশ কর।

What is meant by the specific resistance of a conductor ? How is it connected with the resistance ? What is its unit ?

(U. P. B. 1925, 35)

30. দুইটি তারের ব্যাস সমান, ও রোধাংক সমান। উহাদের একটির দৈর্ঘ্য এক মিটার ও রোধ 5 ওহ্‌ম। দ্বিতীয়টির রোধ 2·5 ওহ্‌ম হইলে উহার দৈর্ঘ্য কত ? [50 সেমি.]।

Two wires have the same diameter and specific resistance. One is one metre long and has a resistance 5 ohms. If the resistance of the other wire is 2·5 ohms, what is its length ?

31. একটি এক ঘন সেমি. তামার টুকরাকে 0·32 মিমি. ব্যাসের তারে পরিণত করা হইল। উহার রোধ কত হইবে ? (তামার রোধাংক $1 \cdot 59 \times 10^{-6}$ ওহ্‌ম-সেমি.)। [2 46 ওহ্‌ম]।

A one cubic cm. copper block is drawn into a wire of diameter 0·32 mm. Find its resistance. (Sp. Resistance of copper $= 1 \cdot 59 \times 10^{-6}$) (cf. C.U. 1944)

32. একটি এক মিটার দীর্ঘ ও 2 মিমি. ব্যাসযুক্ত তারের ভিতর দিয়া 1·5 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ বহিতেছে। তারের রোধাংক 42×10^{-6} ওহ্‌ম-সেমি. হইলে উহার দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য কত হইবে ?

[0·2 ভোল্ট প্রায়]।

1·5 ampere current is flowing through a wire of 1 metre length and 2 mm. diameter. If the specific reistance is 42×10^{-6} ohm-cm, find the p.d. across the wire. (C.U. 1949)

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া

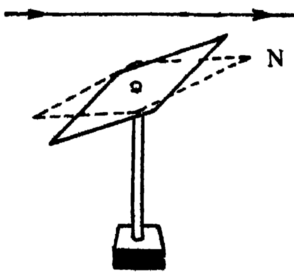
(Magnetic Action of an Electric current)

3.1. কোন পরিবাহীর ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইবার সময়ে উহার তিনটি ক্রিয়া লক্ষ্য করা যায়—(i) **চৌম্বক ক্রিয়া (Magnetic effect)**, (ii) **তাপীয় ক্রিয়া (Heating effect)** ও (iii) **রাসায়নিক ক্রিয়া (Chemical effect)**।

তড়িতের চৌম্বক ক্রিয়া বলিতে বুঝায় যে তড়িৎ যে স্থান দিয়া প্রবাহিত হয়, তাহার নিকটবর্তী স্থানে একটি চৌম্বক বলক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। শুধু তাহাই নহে, কোন চৌম্বক বলক্ষেত্রের মধ্য দিয়া যাইবার সময়ে তড়িৎ-বাহী পরিবাহীটি বিচলিত হয়। তড়িতের চৌম্বক ক্রিয়ার সহিত কিছু পরিচয় তোমাদের ইতিমধ্যে ঘটিয়াছে তড়িচ্চুম্বকের সাহায্যে।

তাহা ছাড়া তড়িৎ যে পরিবাহীর মধ্য দিযা যায়, তাহাকে উহা উত্তপ্ত করিয়া তোলে, বৈদ্যুতিক দীপ্তি-বাতিতে তড়িতের এই বিশেষত্বটুকু ব্যবহার করা হয়।

কোন দ্রবণের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত করিয়া দ্রবণের রাসায়নিক বিশ্লেষণ সম্ভব,—ইহা তড়িতের রাসায়নিক ক্রিয়ার ফল।



3·1
ওরষ্টেডের পরীক্ষা

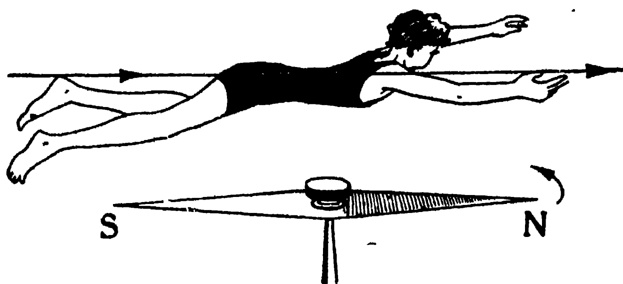
3.2. তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া প্রথম লক্ষ্য করেন **ওরষ্টেড (Oersted)** 1819 খৃষ্টাব্দে। তিনি তড়িৎ-বাহী তারের কাছে একটি চুম্বক-শলাকা লইয়া গিয়া দেখিতে পান যে চুম্বক-শলাকাটি বিক্ষিপ্ত হইতেছে। তিনি তারপর একটি তড়িতাহিত পরিবাহী লইয়া পরীক্ষা করিয়া কিন্তু চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ দেখিতে পাইলেন না। অতএব তিনি বুঝিতে পারিলেন যে তড়িৎ যখন

প্রবাহিত হয় কেবল তখনই চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ সম্ভব ; স্থির বিদ্যুৎ দ্বারা চুম্বককে বিচলিত করা যায় না।

3.3. **অ্যাম্পিয়ারের সন্তরণ সূত্র (Ampere's Swimming Rule) :** ওরষ্টেডের পরীক্ষাকে ব্যাখ্যা করিলে বলা যায় যে প্রবহমান তড়িতের কাছাকাছি অঞ্চলে একটি চৌম্বক বলক্ষেত্র আছে ; এই বলক্ষেত্রের মধ্যে কোন্ চুম্বক-শলাকাকে আনিলে স্বভাবতঃই উহার উত্তর মেরু চৌম্বক বলরেখার অভিমুখে বিচলিত হইবে।

তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ ও চৌম্বক বলক্ষেত্রের অভিমুখের মধ্যে যে ঘনিষ্ঠ সম্বন্ধ থাকিতে পারে ইহা প্রথম লক্ষ্য করেন অ্যাম্পিয়ার। তিনি সন্তরণ-সূত্র নামে একটি সহজ সূত্রের সাহায্যে এই সম্বন্ধকে প্রকাশ করিলেন।

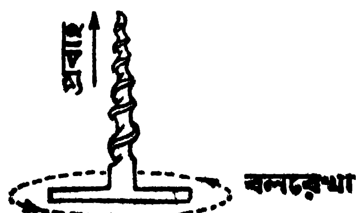
অ্যাম্পিয়ারের সন্তরণ সূত্র : মনে কর কোন লোক তড়িতের প্রবাহ যেই দিকে সেইদিকে মুখ করিয়া বুক-সাঁতার দিতেছে। তাহা হইলে তাহার



3·2

বাম হাত যেদিকে, তড়িৎ-বাহী তারের নীচে অবস্থিত কোন চুম্বক শলাকার মুখও সেইদিকে বিচলিত হইবে (চিত্র নং 3·2)।

3.4. **ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র (Maxwell's Cork-screw Rule) :** ম্যাক্সওয়েল আর একটি সহজ সূত্রের সাহায্যে প্রবহমান তড়িতের চৌম্বক বলক্ষেত্রের অভিমুখ বাহির করিবার উপায় নির্দেশ করেন। মনে কর প্রবহমান তড়িতের অভিমুখে একটি দক্ষিণাবর্তী (Right-hand) কর্ক স্ক্রু বা



3·3

বোতলের ছিপি খুলিবার স্ক্রু ঘুরানো হইতেছে। তাহা হইলে চৌম্বক বলক্ষেত্রের অভিমুখ ঐ স্ক্রু-এর ঘূর্ণনের অভিমুখ হইবে (চিত্র নং 3·3)।

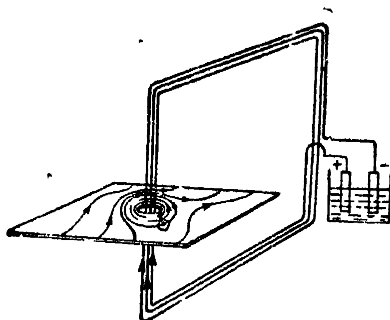
3.5. **প্রবহমান তড়িতের চৌম্বক প্রভাবের বিভিন্ন রূপ (Different forms of magnetic effect of current) :** প্রবহমান তড়িতের চারিপাশে যে চৌম্বক বলক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় তাহাকে তিনটি বিভিন্ন পদ্ধতির পরীক্ষায় বুঝানো যায়। (i) প্রবহমান তড়িতের কাছে কোন চুম্বক আনিলে উহার উপরে বলক্ষেত্রটি কাজ করে। এই ধরণের ফলকে **চুম্বকের উপরে তড়িতের ক্রিয়া (Effect of current on magnet)** বলা যায়। (ii) তাহা ছাড়া যেহেতু তড়িৎ-প্রবাহের কাছে চৌম্বক বলরেখা আছে, সুতরাং তড়িৎ-বাহী পরিবাহীকে যদি কোন শক্তিশালী চুম্বকের কাছে আনা হয়, তবে চুম্বকের বলক্ষেত্রটি তড়িতের বলক্ষেত্রের উপরে আকর্ষণী বা বিকর্ষণী ক্রিয়া করে বলিয়া অনেক সময়ে তড়িৎ-বাহী পরিবাহীটি নিজের অবস্থান হইতে বিচলিত হয়। এই ধরণের ঘটনাকে **তড়িতের উপরে চুম্বকের ক্রিয়া (Effect of magnet on current)** বলা হয়। (iii) একই কারণে যদি একটি তড়িৎ-বাহী পরিবাহীকে আর একটি তড়িৎ-বাহী পরিবাহীর কাছে আনা হয়, তবে উভয় তড়িতের চৌম্বক বলক্ষেত্র পরস্পরের উপরে ক্রিয়া করে, ফলে পরিবাহী দুটি অনেক সময়ে বিচলিত হয়। এই ফলকে **তড়িতের উপরে তড়িতের ক্রিয়া (Action of current on current)** বলা হয়।

3.6. **চুম্বকের উপরে তড়িতের ক্রিয়া সম্বন্ধে পরীক্ষা (Experiments to demonstrate effects of current on magnet) :**

(i) **ওরস্টেডের পরীক্ষা (Oersted's Experiment) :** একটি অতিশয় দীর্ঘ সুতা-জড়ানো তারকে একটি তড়িৎ-কোষের দুই প্রান্তে যুক্ত কর। তড়িৎ-কোষের সহিত একটি রোধ যুক্ত করিয়া লওয়া ভাল। তারের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইবে। এখন তারের একটি অংশকে সমান্তরাল ভাবে একটি চুম্বক শলাকার উপরে ধর (চিত্র নং 3·1)। দেখিবে চুম্বক শলাকাটি উত্তর-দক্ষিণ অভিমুখ ছাড়িয়া বিচলিত হইয়াছে। পরীক্ষাটি শেষ হওয়া মাত্র তড়িৎ-কোষ হইতে তারটিকে খুলিয়া ফেলিবে।

(ii) **ঋজু-রেখ তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক প্রভাবের পরীক্ষা : (Experiment to demonstrate the magnetic effect of a straight current) :** একটি চতুষ্কোণ কাঠের ফ্রেমের উপরে কয়েক-পাক তার জড়ানো

আছে। কাঠের ফ্রেমের এক বাহুতে লম্বভাবে একটি পাতলা কাঠের কার্ডবোর্ডের পাত পরানো হয়। তারের দুই প্রান্তকে একটি তড়িৎ-কো সহিত সংযুক্ত করিলে তার দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইবে, এবং কাঠের ফ্রে যে-কোন বাহুতে তড়িতের অভিমুখ ঋজু-রেখ হইবে। এখন কার্ডবো পাতের উপর তারের কাছে একটি ছোট কম্পাস-কাঁটা বসাইয়া বলরেখাগু



3·4

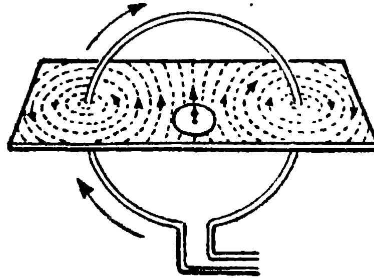
আঁকা যায়। বলরেখাগুলির গঠন 3·4 নং চিত্রে দেখা যাইতেছে। লক্ষ্য করিয়া দেখ, তারের খুব কাছে বলরেখাগুলি বৃত্তাকার। তার হইতে দূরে গেলে কম্পাস কাঁটার উপরে তড়িতের চৌম্বক প্রাধান্য কমিয়া যায় এবং ফলে পৃথিবীর চৌম্বক প্রাবল্য উহার উপর প্রভাব বিস্তার করিতে পারে। এই অবস্থায় বল রেখার অভিমুখ উভয় প্রকার প্রাবল্যের লব্ধি অভিমুখে হইবে। তার হইতে অনেক দূরে উহার চৌম্বক বল থাকে না, তখন যে বলরেখা পাওয়া যায় তাহা পৃথিবীর চৌম্বক বলরেখা।

কম্পাস কাঁটার পরিবর্তে কাঁচা লোহার চূর্ণ ফ্রেমের উপরে রাখিয়া ও আস্তে আস্তে টোকা দিয়া বলক্ষেত্রের চিত্র পাওয়া যায়।

(iii) **বৃত্তাকার তড়িৎ-প্রবাহের চৌম্বক প্রভাবের পরীক্ষা : (Experiment to demonstrate the magnetic effect of a circular current) :** এক টুকরা তারকে বাঁকাইয়া বৃত্তাকার করিয়া লওয়া হয়, উহার মধ্যস্থলে একটি কার্ডবোর্ড বা কাঠের পাত জড়ানো আছে। এখন বৃত্তাকার তারে চিত্রের ন্যায় অভিমুখে তড়িৎ প্রবাহিত হইলে উহার কেন্দ্রে চৌম্বক-বলরেখা কেমন হইবে তাহা 3·5 নং চিত্রে দেখা যাইবে। একটি ছোট চৌম্বক কম্পাসের সাহায্যে এই বলরেখাকে আঁকা যায়। কাঠের পাতের

উপরে কিছু কাঁচা লোহার গুঁড়া রাখিয়া উহার উপরে ধীরে ধীরে টোকা মারিলেও এই বলক্ষেত্র পাওয়া যায়।

এই বলরেখার অভিমুখকে আমরা ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্রের সাহায্যে বুঝিতে পারি। 3·5 নং চিত্রের বামদিকে যেখানে তারটি কার্ডবোর্ডের ভিতর দিয়া যাইতেছে সেখানে তড়িৎ-প্রবাহ ঊর্ধ্বমুখী। ঠিক কার্ডবোর্ডের কাছে তারের অংশটুকুকে যদি একটি ছোট সরলরেখা বলিয়া মনে করা হয় তবে



3·5

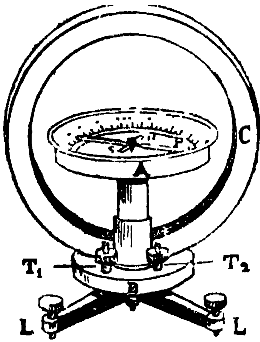
স্বভাবতঃই বলরেখার অভিমুখ ম্যাক্সওয়েলের সূত্র অনুসারে হইবে বোর্ডের উপরে বামাবর্তী, অর্থাৎ ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে (anti-clockwise)। তেমনই, চিত্রে ডানদিকে যেখানে তড়িৎ-প্রবাহ কার্ডবোর্ডকে ভেদ করিয়া নীচের দিকে যাইতেছে, সেখানে উহার চারিদিকে বলক্ষেত্রের অভিমুখ দক্ষিণাবর্তী (clockwise)। বৃত্তের কেন্দ্রে বলরেখাগুলি সবই সম্মুখ হইতে পিছন দিকে যাইতেছে। ইহারা পরস্পরের উপরে বিকর্ষণী বল প্রয়োগ করিতেছে বলিয়া ঠিক কেন্দ্রে বল রেখাগুলি সোজা।

ছোট চুম্বকের উপরে বৃত্তাকার তড়িৎ প্রবাহের ফল ঃ মনে কর আমরা বৃত্তাকার তড়িৎ-প্রবাহকে **উত্তর-দক্ষিণমুখী** করিয়া বসাইয়াছি। এখন একটি ছোট চুম্বক-শলাকা উহার কেন্দ্রে আনিয়া বোর্ডের উপরে বসাইলে কি হইবে! 3·5 নং চিত্রে বুঝিতে পারিবে, শলাকার উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর উপরে বৃত্তের তলের সহিত লম্ব-অভিমুখে বল প্রযুক্ত হইবে। ফলে, উহার উত্তর মেরু পশ্চিম দিকে, এবং দক্ষিণ মেরু পূর্ব-দিকে যাইবে। অবশ্য চুম্বক-শলাকাটি উত্তর দক্ষিণ মুখ হইতে বিচ্যুত হইলেই উহার উপর পৃথিবীর বল ক্রিয়া করিবে ও উহার পুরাপুরি পূর্ব-পশ্চিম মুখ হইয়া বসাকে বাধা দিবে। ফলে চুম্বক-শলাকাটি মাঝামাঝি একটা অবস্থানে স্থির হইয়া যাইবে। তবে

ছবিটি লক্ষ্য করিলেই বুঝিতে পারিবে, এইরকম বিচ্যুতি হইতে গেলে চুম্বকের ঠিক কেন্দ্রে বসা দরকার, কারণ কেন্দ্র হইতে সরাইয়া বসাইলে উহার দুই মেরুর উপর ক্রিয়াশীল বিপরীত বল দুটির মান সমান হইবে না।

3.7. ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার (Tangent Galvanometer) :

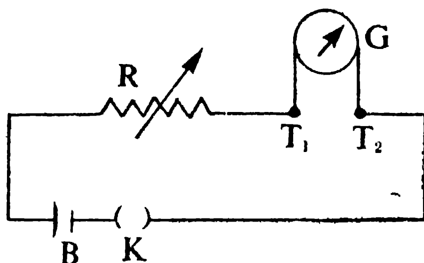
বৃত্তাকার তড়িৎ-প্রবাহের কেন্দ্রে বৃত্তের তলের সহিত লম্ব অভিমুখে চৌম্বক বলক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। এই নীতির উপর ভিত্তি করিয়া তড়িৎ-প্রবাহ মাপিবার একটি যন্ত্র তৈয়ারী হইয়াছে, এই যন্ত্রকে ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটার বলে।



3·6

এই যন্ত্রে একটি কাঠের বৃত্তাকার ফ্রেম C-এর উপরে কয়েকপাক তার জড়ানো থাকে। এই তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইলে বৃত্তাকার তড়িতের সৃষ্টি হয়। এই কাঠের ফ্রেমটিকে ভূমি (base) B-এর উপরে খাড়া করিয়া রাখা হয়, এবং দরকার মত উহার উল্লম্বী অক্ষের উপরে ঘুরানো যায়। তারের কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত স্ক্রু T_1 ও T_2-এর সহিত যুক্ত থাকে। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে একটি বাক্স A অনুভূমিক ভাবে বসানো থাকে ও এই বাক্সের কেন্দ্রে একটি ছোট চুম্বক-শলাকা NS সূচীমুখের উপরে বসিয়া এদিক ওদিক ঘুরিতে পারে। A বাক্সের উপরের ঢাকনাটি কাচের, ও উহার মধ্যে ডিগ্রী স্কেলের চারিটি পাদের (quadrant) ঘর কাটা থাকে। এই স্কেলের সাহায্যে চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ পাঠ করা যায়। পাঠের সুবিধার জন্য শলাকার উপরে উহার সহিত লম্ব-ভাবে একটি অ্যালুমিনিয়ামের সূচক P বসানো হয়। চুম্বকটি ঘুরিবার সময় সূচকটি ডিগ্রী স্কেলে পাঠ দেয়। ডিগ্রী স্কেলের দাগ এমন ভাবে থাকে যে স্বাভাবিক অবস্থায় চুম্বক-শলাকা যখন পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের আকর্ষণে উত্তর-দক্ষিণে এবং সূচক P পূর্ব-পশ্চিমে মুখ করিয়া থাকে তখন সূচকটি স্কেলের $0°-0°$ পাঠ করে। পাঠের সময়ে যাহাতে লম্বন (parallax) না থাকে সেজন্য বাক্সের নীচের দিকটা আয়নার মত করা হয় যাহাতে সূচক ও উহার প্রতিবিম্বকে এক সংগে দেখা যায়। সমস্ত যন্ত্রটি অনুভূমিক করিবার জন্য তিনটি স্ক্রু L, L ব্যবহার করা হয়।

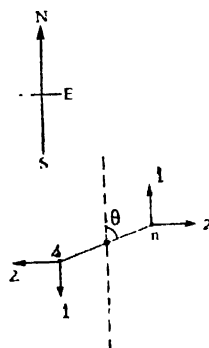
কার্যনীতি ঃ সমস্ত যন্ত্রটিকে অনুভূমিক করিয়া নেওয়া হয়। তারপর কাঠের ফ্রেম C-কে উল্লম্বী অক্ষের উপরে ঘুরাইয়া উহার তলকে উত্তর-দক্ষিণ



3·7
ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটার সংযুক্ত করিবার উপায়।
B : কোষ ; K : চাবি ; R : রোধ বা পরিবাহী ; G : গ্যালভানোমিটার ;
T_1, T_2 : গ্যালভানোমিটারের সংযুক্ত স্ক্রু।

মুখী করা হয় ; এখন C-এর তল চুম্বক NS-এর সমান্তরাল হয়। যে বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহ মাপিতে হইবে তাহার সহিত T_1 ও T_2 সংযোজক স্ক্রু জুড়িয়া তড়িৎকে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত করা হয় (চিত্র নং 3·7)।

গ্যালভানোমিটারের বৃত্তাকার কুণ্ডলীর মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহের ফলে উহার কেন্দ্রে লম্ব অভিমুখে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। কুণ্ডলীটিকে যেহেতু উত্তর-দক্ষিণ মুখী করিয়া রাখা হইয়াছিল, অতএব এই চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ হইবে পূর্ব-পশ্চিম মুখী ও উহা চুম্বক-শলাকাকে পূর্ব-পশ্চিমে লইয়া যাইতে চাহিবে (চিত্র নং 3·8)। কিন্তু চুম্বকটি বিচ্যুত হইলেই পৃথিবীর চৌম্বক বল উহাকে আবার উত্তর-দক্ষিণে ফিরাইয়া লইয়া যাইতে চাহিবে। তড়িৎ-প্রবাহ চুম্বকের উত্তর ও দক্ষিণ মেরুর উপরে সমপরিমাণ ও বিপরীত মুখী যে দুইটি চৌম্বক বলের সৃষ্টি করিবে (চিত্রে 2,2) উহারা একটি দ্বন্দ্ব (couple) হিসাবে কাজ করিবে। তেমনই



3·8
তড়িৎ-প্রবাহের সময়ে গ্যালভানোমিটারের চুম্বকের বিক্ষেপ।
পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের বল : 1,1 ;
চুম্বকের উপরে গ্যাল্‌ভানোমিটারের বল : 2,2 ;

পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্র আর একটি দ্বন্দ্ব 1,1-এর সৃষ্টি করিবে। চুম্বকের যে অবস্থানে এই দুই দ্বন্দ্বের প্রভাব সমান হইবে চুম্বকটি সেই অবস্থানে স্থির হইয়া দাঁড়াইবে এবং মনে কর উত্তর-দক্ষিণ অভিমুখ হইতে উহার বিচ্যুতি হইবে θ। বলাই বাহুল্য, তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণ যত বেশী হইবে, 2,2 নং দ্বন্দ্বের প্রভাব ততই শক্তিশালী হইবে, এবং চুম্বকটি উত্তর-দক্ষিণ হইতে ততই বেশী বিচ্যুত হইয়া দাঁড়াইবে।

প্রমাণ করা যায় যে তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণ i অ্যাম্পিয়ার হইলে

$$i = 10 . \frac{H}{\frac{2\pi n}{r}} \tan\theta,$$

অথবা $= 10\ K \tan\theta$।

[H = পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য, n = তারের কুণ্ডলীতে পাকের সংখ্যা, r = কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ, K = ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের লঘু গুণক (reduction factor)]।

চুম্বকের বিচ্যুতি θ হইলে $\tan\theta$-কে একটি ধ্রুব সংখ্যা দিয়া গুণ করিয়া প্রবাহ মাপা যায় বলিয়া এই যন্ত্রকে ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটার বলা হয়। প্রবাহ মাপিবার সমস্ত যন্ত্রকেই গ্যাল্‌ভানোমিটার বলা হয়।

3.8. **অনুশীলন ঃ**

(a) একটি ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের লঘু গুণক ·0891। কোন বর্তনীতে গ্যাল্‌ভানোমিটারকে সংযুক্ত করিলে উহার চুম্বক-শলাকার বিচ্যুতি হইল 30°। বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণ কত ?

তড়িৎ-প্রবাহ i অ্যাম্পিয়ার, লঘু গুণক K, এবং বিচ্যুতি θ হইলে,

$$i = 10\ K \tan\theta$$

$$= 10 \times \cdot 0891 \times \tan 30° = 10 \times \cdot 0891 \times \cdot 5774$$

$= \cdot 514$ অ্যাম্পিয়ার।

(b) একটি ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের কুণ্ডলীতে 20টি পাক আছে ও উহার গড় ব্যাসার্ধ 4″। H-এর মান 0·35 ওরষ্টেড হইলে গ্যাল্‌ভানোমিটারের লঘু গুণক কত ?

$H = \cdot 35$ ওরষ্টেড ; $n = 20$; $r = 4'' = 4 \times 2\cdot 54$ সেমি. ;

$$\therefore\ K = \frac{H}{\frac{2\pi n}{r}} = \frac{\cdot 35}{\frac{2\pi \times 20}{4 \times 2\cdot 54}} = \cdot 0283 \text{ C.G.S. একক।}$$

(c) কোন ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের লঘু গুণক 0·1 অ্যাম্পিয়ার। কত তড়িৎ-প্রবাহে উহার 45° বিচ্যুতি ঘটিবে?

দ্রষ্টব্য : লঘু গুণককে অ্যাম্পিয়ারে প্রকাশ করিলে সংকেতটি অন্যরকম হয়—

$$i = K \tan\theta$$

$\therefore \quad i = \cdot 1 \times \tan 45° = 0{\cdot}1$ অ্যাম্পিয়ার।

(d) একটি ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের কুণ্ডলীর রোধ 5 ওহ্‌ম। উহার লঘু গুণক 0·01 হইলে ও উহার সহিত 2 ভোল্‌ট তড়িচ্চালক বল ও 0·1 ওহম অন্তঃরোধ-বিশিষ্ট কোষ যুক্ত করিলে উহার বিচ্যুতি কত হইবে?

গ্যাল্‌ভানোমিটারে প্রবাহের পরিমাণ $i = \frac{E}{R+r} = \frac{2}{5+\cdot 1} = \cdot 392$ অ্যা.

[E = তড়িচ্চালক বল, R = বহিঃরোধ, r = অন্তঃরোধ]

আবার $i = 10\ K \tan\theta$ [K = লঘু গুণক]

$\therefore \quad \tan\theta = \frac{i}{10\ K} = \frac{\cdot 392}{10 \times \cdot 01} = 3{\cdot}92$।

$\therefore \quad \theta = 75°37'$ প্রায়।

(e) একটি ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের কুণ্ডলীর রোধ 10·2 ওহ্‌ম এবং লঘু গুণক 0·009। 1·46 ভোল্‌ট তড়িচ্চালক বল বিশিষ্ট একটি বর্তনীর সহিত গ্যাল্‌ভানোমিটারকে যুক্ত করিলে উহাতে 35° বিচ্যুতি হয়। বর্তনীর রোধ কত? (চিত্র নং 3·7 দেখ)।

প্রবাহের পরিমাণ $i = 10\ K \tan\theta$ [K = লঘু গুণক, θ = বিচ্যুতি]

$= 10 \times \cdot 009 \times \tan 35°$

$= 10 \times \cdot 009 \times \cdot 7002 = \cdot 063$ অ্যা. প্রায়।

আবার $i = \frac{E}{R_1 + R_g}$ [E = তড়িচ্চালক বল, R_1 = বর্তনীর রোধ, R_g = গ্যালভানোমিটারের রোধ]

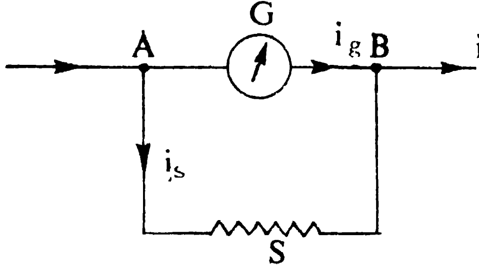
$\therefore \quad \cdot 063 = \frac{1{\cdot}46}{R_1 + 10{\cdot}2}$

$\therefore \quad R_1 = 13$ ওহম প্রায়।

3.9. শাণ্টের ব্যবহার (Use of Shunts) :

অনেক সময়ে তড়িৎ-বর্তনীতে প্রবাহের পরিমাণ এত বেশী থাকে যে উহার সহিত সোজাসুজি গ্যাল্‌ভানোমিটারকে যুক্ত করিলে গ্যাল্‌ভানো-

মিটারের তার পুড়িয়া যাইবার সম্ভাবনা থাকে। গ্যাল্‌ভানোমিটারকে রক্ষা করিবার জন্য সেই সব স্থানে শাণ্ট ব্যবহার করা হয়। শাণ্ট একটি ছোট রোধ। কোন খালের সহিত সমান্তরাল করিয়া সংযুক্ত একটি খাল কাটিয়া দিলে যেমন মোট জলপ্রবাহ দুইভাগে ভাগ হইয়া যায় তেমন এখানেও



3·9

শাণ্টযুক্ত গ্যাল্‌ভানোমিটার

তড়িৎ-প্রবাহ দুই ভাগে ভাগ হইয়া যায ও গ্যাল্‌ভানোমিটারের তড়িৎ প্রবাহ কমিয়া যায়। শাণ্টের রোধের পরিমাণ ঠিক করিয়া গ্যাল্‌ভানোমিটারের প্রবাহের পরিমাণ বাড়ানো-কমানো যায়।

শাণ্টের কার্যনীতি ঃ

3·9 নং চিত্রে গ্যাল্‌ভানোমিটারের সহিত শাণ্ট সংযুক্ত করা হইয়াছে। মনে কর বর্তনীর মূল প্রবাহ i। শাণ্ট ও গ্যাল্‌ভানোমিটারের সংযোগস্থান A বিন্দুতে এই প্রবাহ দুই ভাগ হইয়া, এক ভাগ i_g গ্যালভানোমিটার দিয়া ও অন্য ভাগ i_s শাণ্ট দিযা প্রবাহিত হইল। এই দুই প্রবাহ আবার B বিন্দুতে যুক্ত হইয়া পরিমাণে i হইল।

অতএব $i = i_s + i_g$ ... ... (i)

মনে কর গ্যালভানোমিটারের রোধ G এবং শাণ্টের রোধ S।

A ও B বিন্দুর বিভব-বৈষম্য, তাহা গ্যাল্‌ভানোমিটারের পথে বা শাণ্টের পথে, যে ভাবেই মাপা যাক্ সমান।

অতএব, $i_g . G = i_s . S$. ... ...(ii)

$$\therefore \quad i_s = i_g . \frac{G}{S} \text{ ।}$$

লক্ষ্য কর, S যত ছোট হইবে i_g ততই কমিয়া যাইবে।

(i) নং সংকেত হইতে,

$$i = i_g.\frac{G}{S} + i_g$$

$$\therefore \quad i_g = i.\frac{S}{S+G} \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(iii)}$$

তেমন ভাবেই, $$i_s = i.\frac{G}{S+G} \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(iv)}$$

3.10. **অনুশীলন :**

(*a*) G রোধ-বিশিষ্ট একটি গ্যাল্‌ভানোমিটারের সহিত কত শাণ্ট যুক্ত হইলে গ্যাল্‌ভানোমিটারে মূল প্রবাহের $\frac{1}{n}$ অংশ যাইবে?

মনে কর শাণ্টের মান $= S$, মূল প্রবাহ $= i$, গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ $= i_g$।

$$\therefore \quad i_g = i.\frac{S}{S+G} \text{ হইতে,}$$

$$\frac{i}{n} = i.\frac{S}{S+G}\text{।}$$

$$\therefore \quad nS = S + G$$

$$\therefore \quad S = \frac{G}{n-1}\text{।}$$

(*b*) কোন ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারে তড়িৎ-প্রবাহের ফলে 71°6′ বিচ্যুতি হইল। উহার সহিত কত শাণ্ট যুক্ত করিলে বিচ্যুতির পরিমাণ 55°36′ হইবে? (মূল প্রবাহ স্থির রহিল। গ্যালভানোমিটারের রোধ $= 12$ ওহ্‌ম)।

মনে কর প্রথমে গ্যাল্‌ভানোমিটারে তড়িৎ প্রবাহ ছিল i। স্বভাবতঃই ইহাই মূল বর্তনীর প্রবাহ।

$$\therefore \quad i = 10K \tan 71°6'$$
$$= 10K \times 2{\cdot}9208\text{।}$$

দ্বিতীয় অবস্থায় গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ i_g হইলে,

$$i_g = 10K \tan 55°36'$$
$$= 10K \times 1{\cdot}4605$$

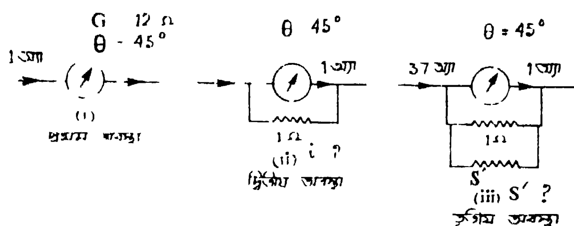
$$\therefore \quad i_g = \frac{i}{2} \text{ (প্রায়) ।}$$

আবার, $i_g = i.\frac{S}{S+G}$ ।

$$\therefore \quad \frac{i}{2} = i.\frac{S}{S+G}$$

$$\therefore \quad S = G \text{ ।}$$

(c) কোন ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের রোধ 12 ওহ্‌ম ও উহার মধ্যে 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হইলে উহার 45° বিচ্যুতি হয়। উহার সহিত 1 ওহ্‌ম শাণ্ট যুক্ত করিলে উহা কত অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ-বর্তনীর সহিত যুক্ত হইলে 45° বিচ্যুতি দিবে? এই শাণ্টের সমান্তরাল কত ওহ্‌ম আর একটি শাণ্ট যুক্ত করিলে 37 অ্যাম্পিয়ার মূল তড়িৎ-প্রবাহে গ্যাল্‌ভানোমিটারের বিচ্যুতি 45° হইবে?



3 10

চিত্র নং 3·10 প্রথম অবস্থা হইতে K-এর মান জানা যায়।

$1 = 10K \tan 45° \quad \therefore \quad K = 0{\cdot}1$ C. G. S. একক।

দ্বিতীয় অবস্থায়, যেহেতু গ্যাল্‌ভানোমিটারের বিচ্যুতি 45°, অতএব গ্যাল্‌ভানোমিটারের প্রবাহ = 1 অ্যা.।

$i_g = i.\frac{S}{S+G}$ সংকেত অনুসারে,

$$1 = i.\frac{1}{1+12}$$

$\therefore \quad i = 13$ অ্যাম্পিয়ার।

তৃতীয় অবস্থায়, 1 ওহ্‌ম শাণ্ট ও S′ শাণ্ট (চিত্র নং iii) উভয়ে মিলিয়া একটি যুক্ত শাণ্ট S_1 হিসাবে কাজ করিতেছে।

$$\therefore \quad ig = i.\frac{S_1}{S_1 + G} \text{ অনুসারে,}$$

$$1 = \frac{37.S_1}{S_1 + 12}$$

$$\therefore \quad S_1 + 12 = 37S_1$$

$$\therefore \quad S_1 = \frac{12}{36} = \frac{1}{3} \text{ ওহম।}$$

কিন্তু যেহেতু 1 ওহ্‌ম শাণ্ট ও S′ শাণ্ট সমান্তরাল সজ্জায় S_1 মান দিতেছে, অতএব, সমান্তরাল সজ্জার সংকেত অনুসারে,—

$$\frac{1}{S_1} = \frac{1}{S'} + \frac{1}{1}$$

$$\therefore \quad S_1 = \frac{S'.1}{1 + S'}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{3} = \frac{S'}{1 + S'}$$

$$\therefore \quad 1 + S' = 3S' \qquad \therefore \quad S' = 0{\cdot}5 \text{ ওহম।}$$

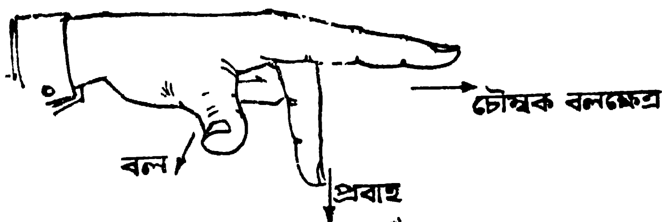
3.11. **প্রবহ-মান তড়িতের উপরে চুম্বকের প্রভাব (Effect of Magnet on current) :**

কোন পরিবাহী দিয়া যখন তড়িৎ প্রবাহিত হয় তখন উহার চারিপাশে একটি চৌম্বক বলক্ষেত্রের সৃষ্টি হয। স্বভাবতঃই এই পরিবাহীটি যদি কোন শক্তিশালী চুম্বকের কাছে থাকে, তবে চুম্বকের বলক্ষেত্র তড়িতের বলক্ষেত্রের উপরে কাজ করে এবং উভয় বলক্ষেত্রের পারস্পরিক ক্রিয়া হয়। পরিবাহীটি যদি নড়িতে সক্ষম হয় তবে এই ক্রিয়ার ফলে উহার বিচলন হয়।

ফ্লেমিং এর বাম-হস্ত সূত্র (Fleming's Left-hand Rule) হইতে তড়িৎ-বাহী তার একটি চুম্বকের বলক্ষেত্রে পড়িলে কোন্‌দিকে বিচলিত হইবে তাহা অতি সুন্দরভাবে বুঝিতে পারা যায়।

মনে কর তোমার বাম-হস্ত এমনভাবে রাখিয়াছ যেন তোমার তর্জনী (Fore finger), মধ্যমা (mIddle finger) ও অংগুষ্ঠ (thuMb) পরস্পর সমকোণে আছে (চিত্র নং 3·11)। তাহা হইলে যদি তোমার মধ্যমা তড়িৎ-প্রবাহের এবং তর্জনী চৌম্বক বলক্ষেত্রের অভিমুখ নির্দেশ করে, তবে তোমার বৃদ্ধাংগুষ্ঠ পরিবাহীর উপরে বল ও পরিবাহীর বিচলনের অভিমুখ

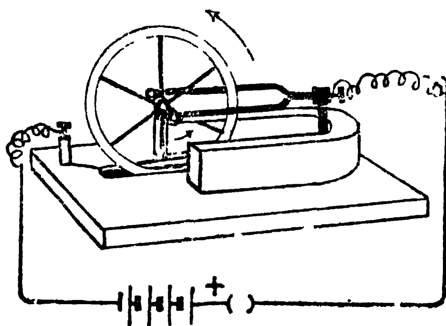
দেখাইবে। এই সূত্রে একটি জিনিষ লক্ষ্য করিবে, প্রবাহ ও বলক্ষেত্র পরস্পর সমকোণী হইবে এবং বিচলন তৃতীয় সমকোণের অভিমুখে হইবে। প্রবাহ ও বলক্ষেত্র সমকোণী না হইয়া যদি সমান্তরাল হয় তবে বিচলন হইবে না। এই সূত্রকে মনে রাখিবার জন্য আঙুলগুলির ইংরাজী প্রতিশব্দ বিশেষ



3·11

উপকারে আসে। তর্জনীর ইংরাজী Fore finger-এর F, মধ্যমার ইংরাজী mIddle finger-এর I, যথাক্রমে বলক্ষেত্র (field F) এবং প্রবাহ (current i) নির্দেশ করিবে, এবং অংগুষ্ঠের (thuMb) M বিচলন (motion) দেখাইবে।

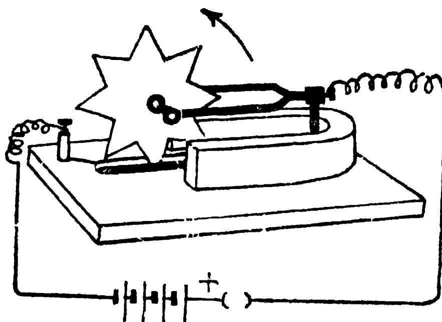
3.12. বার্লোর চক্র (Barlow's Wheel) : তড়িৎ বহনকারী পরিবাহীর উপরে চুম্বকের প্রভাব একটি সুন্দর পরীক্ষার সাহায্যে সহজভাবে বুঝানো



3·12 (a)

যায়। এই যন্ত্রে ধাতুতে তৈয়ারী একটি চাকা বা তারকা অনুভূমিক অক্ষের উপরে ঘুরিবার ব্যবস্থা করিয়া বসানো হয় চিত্র নং 3·12 (a) 3·12 (b)। যন্ত্রের আসনে একটি পারদের পাত্র এমনভাবে বসানো থাকে যে চাকা বা তারকার নিম্নতম বিন্দু পারদে ডুবিয়া থাকে। সংযোজক স্ক্রু এর

সাহায্যে চাকার মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত করা যায়। প্রবাহ চাকার কেন্দ্রে চাকার মধ্যে ঢোকে ও পারদের পাত্রের ভিতর দিয়া বাহিরে চলিয়া যায়। চাকার দুইপাশে একটি জোরালো অশ্বখুর চুম্বক এমনভাবে বসানো থাকে যে উহার মেরুদুটি চাকার দুইপাশে থাকে। এখন চাকার মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত করিলে উহার মধ্যে তড়িৎ খাড়া নীচে নামে বা

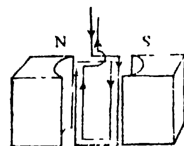


3·12 (b)

উপরে ওঠে। এই খাড়া তড়িৎ-প্রবাহের উপরে চুম্বকের প্রভাব লম্বভাবে কাজ করিয়া বিচলন সৃষ্টি করে ও ফলে চাকা ঘোরে। তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ ও চুম্বকের বলক্ষেত্রের দিক জানিলে, চাকা কোন দিকে ঘুরিবে তাহা ফ্লেমিং-এর বামহস্ত সূত্রের সাহায্যে বাহির করা যায়।

3.13. সঞ্চারক কুণ্ডলী গ্যাল্‌ভানোমিটার (Moving coil Galvanometer):

প্রবাহ বহনকারী পরিবাহীর উপরে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব ব্যবহার করিয়া এক প্রকারের অতি সূক্ষ্ম গ্যাল্‌ভানোমিটার নির্মিত হইয়াছে। একটি পরিবাহী তারের চৌকা কুণ্ডলী একটি শক্তিশালী চুম্বকের মেরুদুইটির মধ্যে ঝুলানো থাকে। তারের দুইপ্রান্ত দুইটি সংযোজক স্ক্রু-এর সাহায্যে তড়িৎ বর্তনীর সহিত যুক্ত করিলে উহার মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত হয় ও কুণ্ডলীটি বিচলিত হয়। বিচলনের পরিমাণ হইতে তড়িতের পরিমাণ মাপা যায়।



3·13

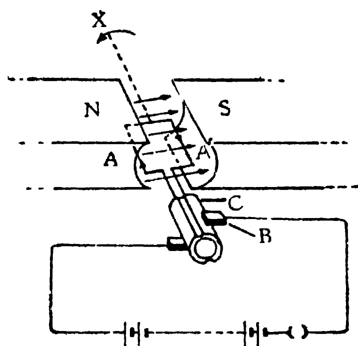
3.14. বৈদ্যুতিক মোটর (Electric Motor): তোমরা বৈদ্যুতিক পাখা দেখিয়াছ, ইহাতে বিদ্যুৎ-প্রবাহের সাহায্যে ঘূর্ণনগতি সৃষ্টি করা যায়।

বৈদ্যুতিক ট্রাম, বৈদ্যুতিক ট্রেন, প্রভৃতিও একই শ্রেণীর যন্ত্র। এই সমস্ত যন্ত্রকে বৈদ্যুতিক মোটর বলা হয়। মোটর বা Motor কথাটি গতি বা Motion হইতে আসিয়াছে।

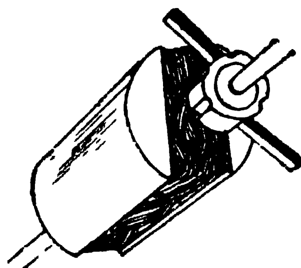
চৌম্বক বলক্ষেত্রের প্রভাবে তড়িৎ-বাহী পরিবাহীর বিচলনের উপরে ভিত্তি করিয়া বৈদ্যুতিক মোটর তৈয়ারী করা হয়।

3·14 নং চিত্রে বৈদ্যুতিক মোটরের একটি সরল চিত্র দেখা যাইতেছে।

AA′ একটি চৌকা কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত কমুটেটর (Commutator) C-এর দুইদিকে সংযুক্ত। মোটরের ক্ষেত্রে এই কুণ্ডলীকে আর্মেচার বলা হয়।



3·14


3·15
কুণ্ডলী

কমুটেটরের এই দুইদিক পরস্পর হইতে অন্তরিত থাকে। কুণ্ডলী ও কমুটেটর অক্ষ X-এর চারিদিকে ঘুরিতে পারে। কুণ্ডলীটি একটি শক্তিশালী চুম্বকের দুই মেরুর মধ্যে রাখা হয়। সাধারণতঃ ইহাকে কাঁচা লোহার উপরে জড়ানো হয় যাহাতে চুম্বকের প্রভাব খুব জোরালো হয়।

বাহির হইতে তড়িৎ-প্রবাহ আসিয়া কার্বন দণ্ড বা ব্রাশ (Brush) B-এর সাহায্যে কুণ্ডলীর মধ্যে ঢোকে ও বাহির হইয়া যায়। ফলে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে কুণ্ডলীটির বিচলন হয় ও উহা চিত্রে দেখানো বামাবর্তী পথে ঘোরে।

কমুটেটরকে অন্তরিত দুইভাগে ভাগ করা একান্ত প্রয়োজন, কারণ তাহা না হইলে তড়িৎ একটি ব্রাশ দ্বারা কমুটেটরে ঢুকিয়া তৎক্ষণাৎ অন্য ব্রাশের পথে বাহির হইয়া যাইত, কুণ্ডলীতে ঢুকিত না।

সাধারণ বৈদ্যুতিক মোটরে একটি কুণ্ডলীর বদলে পরস্পর হইতে অন্তর্হিত ও পরস্পরের সহিত কোনাকুনি অবস্থিত অনেকগুলি কুণ্ডলী থাকে। কারণ চিত্রের AA′ কুণ্ডলী যখন ঘুরিয়া অনুভূমিক অবস্থান হইতে খাড়া অবস্থান আসে তখন উহার উপরে কোন বল থাকে না বলিয়া থামিয়া যাইতে পারে। সেই অবস্থায় যদি দ্বিতীয় একটি কুণ্ডলী চুম্বকের বলক্ষেত্রে আসিয়া পড়ে তবে উহা আবার নুতন গতি লাভ করে।

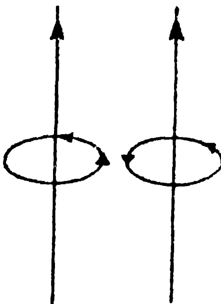
প্রতিটি কুণ্ডলীর জন্য কমুটেটরের এক-এক জোড়া ভাগ ব্যবহার করা হয়। স্থায়ী চুম্বকের বদলে অনেক মোটরে তড়িৎ-চুম্বক ব্যবহার করা হয়। এবং এক জোড়া মেরুর পরিবর্তে কয়েক জোড়া মেরু বৃত্তাকারে সাজানো থাকে। মোটরের বেগ চৌম্বক বলক্ষেত্রের প্রাবল্য ও আর্মেচারের তড়িৎ-প্রবাহের উপরে নির্ভর করে।

উপরের বর্ণনাটি D.C. মোটরের চিত্র। A.C. মোটরে অন্যরকম ব্যবস্থা থাকে।

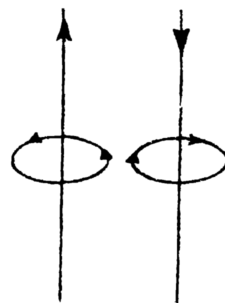
3.15. তড়িৎ-প্রবাহের উপরে তড়িৎ-প্রবাহের প্রভাব (Effect of Current on Current) :

প্রবাহ বহনকারী দুইটি পরিবাহীকে পাশাপাশি রাখিলে উহাদের চৌম্বক বলক্ষেত্র দুইটি পরস্পরের উপরে কাজ করে, ফলে পরিবাহী দুইটি পরস্পরকে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করে।

3·16 নং চিত্রে এই রকম দুইটি অবস্থা দেখা যাইতেছে



a) আকর্ষণ



b) বিকর্ষণ

3·16

(a)-তে সমান্তরাল দুইটি পরিবাহী দিয়া একই দিকে তড়িৎ প্রবাহিত

হইতেছে। উহাদের চৌম্বক বলরেখার অভিমুখ লক্ষ্য করিলে দেখিবে, দুইটি বলরেখা যখন কাছাকাছি আসিতেছে তখন উহাদের অভিমুখ বিপরীত। বিপরীত-মুখী দুইটি বলরেখা পরস্পরকে আকর্ষণ করে, কাজেই পরিবাহী দুইটি পরস্পরকে আকর্ষণ করিবে।

(b)-তে পরিবাহীর অভিমুখ বিপরীতমুখী। এখানে চৌম্বক বলরেখাগুলির অভিমুখ লক্ষ্য কর। দুইটি তারের চৌম্বক বলরেখাগুলি যখন কাছাকাছি তখন উহাদের অভিমুখ একই দিকে বলিয়া উহারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করিবে, কাছের তার দুইটির পরস্পর বিকর্ষণ হইবে।

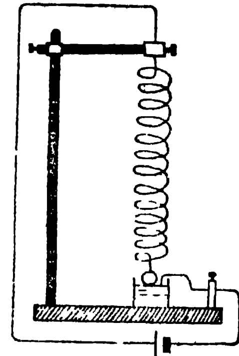
3·17 নং চিত্রে তারগুলির বিভিন্ন অবস্থায় বলের প্রকৃতি দেখানো হইয়াছে।

রোজে'র কম্পমান কুণ্ডলী (Roget's Vibrating Spiral) :





3·17



3·18

দুইটি তড়িৎ-প্রবাহের পারস্পরিক প্রভাবের একটি সুন্দর পরীক্ষা রোজের কম্পমান কুণ্ডলী।

এই যন্ত্রে একটি নরম তারের কুণ্ডলী একটি পরিবাহী স্ট্যাণ্ডের প্রান্ত হইতে খাড়া ঝুলানো আছে। তারের নীচের দিকে একটি ধাতুর গোলক আটকাইয়া উহাকে টান রাখা হয় ও উহাকে একটি পারদের পাত্রের মধ্যে সামান্য ডুবাইয়া রাখা হয়। স্ট্যাণ্ড ও পারদের পাত্রের সহিত সংযোজক স্ক্রু থাকে, এই স্ক্রু-দুইটিকে কোষের সহিত যুক্ত করিয়া কুণ্ডলীর মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত করা যায়। তখন দেখা যাইবে যে কুণ্ডলী উপর নীচে কাঁপিতেছে।

কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া প্রবাহ চলিবার সময়ে উহার পাকগুলির ভিতর দিয়া প্রবাহের অভিমুখ একই দিকে হয়। ফলে পাশাপাশি পাকগুলির মধ্যে

আকর্ষণ হয় ও কুণ্ডলীটি সংকুচিত হয়। কুণ্ডলীর নীচের গোলকটি তখন পারদ হইতে বিচ্ছিন্ন হয়। উহার ফলে গোলক ও পারদের মধ্যে বৈদ্যুতিক সংযোগ বিচ্ছিন্ন হয় ও কুণ্ডলীর মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ হইয়া যায়। গোলকটি নিজের ভারে তখন আবার কুণ্ডলীকে টান করিয়া নীচে পারার মধ্যে নামিয়া পড়ে ও বৈদ্যুতিক সংযোগ আবার স্থাপিত হয়। ফলে কুণ্ডলীর আবার সংকুচন হয়। এইভাবে বারবার তড়িৎ প্রবাহ চালু ও বিচ্ছিন্ন হওয়ায় কুণ্ডলীটি উঠানামা করিতে থাকে।

3.16. মাইকেল ফ্যারাডে (Michael Faraday)—(1791—1867) :

এই ইংরেজ বিজ্ঞানী ছিলেন এক কামারের সন্তান। বই বাঁধাই-এর এক দপ্তরীর সহকারী হিসাবে ১৪ বৎসরে তাঁহার কর্মজীবন সুরু হয়। কাজের ফাঁকে তিনি রয়াল ইনষ্টিটিউশনে সার হাম্‌ফ্রী ডেভীর রসায়নের উপরে বক্তৃতা শুনিতেন। সেই বক্তব্য সুন্দর করিয়া লিখিয়া এবং চিত্রিত করিয়া একদিন তিনি ডেভীর কাছে পাঠাইলেন ও ইনষ্টিটিউশনের গবেষণাগারে একটি চাকুরী প্রার্থনা করিলেন। অবশেষে 1813 সালে তাহাকে গবেষণাগারের অ্যাসিস্ট্যান্ট পদে নিযোগ করা হইল। ক্রমে তাঁহার প্রতিভা প্রকাশ পাইল। 1825 সালে তিনি এই গবেষণাগারের ডিরেক্টর হন ও 1833 সালে ইহার আজীবন অধ্যাপক পদে বৃত হন। তাঁহার বক্তৃতা দানের ক্ষমতা ছিল অপূর্ব।

ফ্যারাডের গবেষণামূলক কাজের সময়কে দুইটি ভাগে ভাগ করা যায়।

প্রথমে তিনি ডেভীর পদাংক অনুসরণ করিয়া রসায়নের কাজ করিতেন। তিনি ক্লোরিণ সম্বন্ধে বিস্তৃত গবেষণা করেন, এবং কার্বণের দুইটি ক্লোরাইড আবিষ্কার করেন। তিনি কয়েকটি গ্যাসকে তরল করেন, ইস্পাত সম্বন্ধে গবেষণা করেন, এবং বিভিন্ন কাচ নির্মাণ করেন।

কিন্তু তাঁহার তড়িৎ সম্বন্ধে উৎসাহ তাঁহার রসায়নের গবেষক রূপকে ঢাকিয়া ফেলিল। ভোল্টার স্তূপ সম্বন্ধে তিনি 1812 সালে প্রথম গবেষণা করেন। তাঁহার প্রথম উল্লেখযোগ্য আবিষ্কার হইল চুম্বক ও তড়িৎবাহী তারের পরস্পরের চারিদিকে ঘূর্ণন। 1831 সালে তিনি তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশের তত্ত্ব বাহির করিবেন। তড়িৎ বিশ্লেষণকে তিনিই প্রথম পূর্ণাংগ রূপ দেন বলিয়া ইহার সূত্রগুলিও তাঁহার নামে পরিচিত।

1841 সালে ফ্যারাডের গবেষণার প্রথম পর্যায় শেষ হইল। আবার 1845 সালে তিনি কাজে নামিলেন, এবং তাঁহার নিজের নির্মিত কাচে সমাবর্তিত আলোকের (plane polarised) পরীক্ষায় চুম্বক বলক্ষেত্রে আলোকের সমাবর্তনের তলের পরিবর্তন দেখাইয়া ফ্যারাডে চুম্বক-শক্তি ও আলোক-শক্তির সম্পর্ক প্রমাণ করেন।

ফ্যারাডের প্রকাশিত রচনার মধ্যে "Chemical Manipulation, being Instructions to students in Chemistry," "Experimental Researches in Electricity," "Experimental researches in Chemistry and Physics,,' "Lectures on the Chemical History of a candle" প্রভৃতির বহু সংস্করণ হইয়াছে।

প্রশ্নমালা

1. একটি চুম্বক-শলাকার উপরে একটি প্রবাহ-বাহী সোজা তার চুম্বক শলাকার সমান্তরালভাবে রাখা হইল। কি ফল লক্ষ্য করিবে?

(i) প্রবাহের মাত্রা বাড়াইলে, (ii) উহার দিক পরিবর্তন করিলে, এবং (iii) উহাকে শলাকার নীচে ধরিলে কি পরিবর্তন হইবে?

A straight conductor carrying current is held above a magnetic needle parallel to it. What effect will be observed ?

If (i) the intensity of the current is increased, (ii) its direction is reversed, and (iii) it is held below the magnetic needle, what changes will occur. (cf. C. U. 1919)

2. একটি প্রবহমান তড়িতের নিকট একটি চৌম্বক বলক্ষেত্র থাকে, দুইটি পরীক্ষার দ্বারা ইহা প্রমাণ কর।

A magnetic field is produced near an electric current—describe two expriments to demonstrate it.

3. তড়িৎ-প্রবাহের সহিত সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলক্ষেত্র সম্বন্ধে অ্যাম্পিয়ারের সন্তরণসূত্র ও ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র বর্ণনা কর।

Describe Ampere's Swimming Rule and Maxwell's Cork-Screw Rule relating the magnetic field associated with an electric current.

4. পরীক্ষা দ্বারা দেখাও—
(i) চুম্বকের উপরে চুম্বকের প্রভাব,
(ii) চুম্বকের উপরে তড়িৎ-প্রবাহের প্রভাব,
(iii) তড়িৎ-প্রবাহের উপরে চুম্বকের প্রভাব,
এবং (iv) প্রবাহের উপরে প্রবাহের প্রভাব।

Describe experiments to demonstrate effect of
(i) Magnet on magnet,
(ii) Current on magnet,
(iii) Magnet on current,
and (iv) Current on current.

5. ঋজুরেখ প্রবাহের সহিত সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলক্ষেত্রের প্রকৃতি একটি পরীক্ষা দ্বারা দেখাও।

Describe an experiment to demonstrate the nature of the magnetic field associated with a straight current. (Pat. 1929)

6. একটি বৃত্তাকার তড়িৎ-বর্তনীর কাছে চৌম্বক বলক্ষেত্রের প্রকৃতি কিরূপ? একটি পরীক্ষা দ্বারা উহা কিরূপে দেখাইবে?

What is the nature of the magnetic field near a circular current? How can you experimentally demonstrate it.

7. একটি ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের গঠন ও কার্যনীতির বর্ণনা দাও। ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের লঘু গুণক কাহাকে বলে?

Describe the construction and principle of action of a Tangent Galvanometer. What is its reduction factor?

(H. S. 1962)

8. গ্যাল্‌ভানোমিটারের শাণ্ট কাহাকে বলে? ইহা কিজন্য ব্যবহৃত হয়?

What is a Shunt of a galvanometer? Why is it used?

9. কোন ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের লঘু গুণক 1 অ্যাম্পিয়ার। উহার কুণ্ডলীর রোধ 15 ওহ্‌ম হইলে, উহার দুই প্রান্তে কত বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিলে উহাতে 55° বিক্ষেপ হইবে? [15 ভোল্ট]

The reduction factor of a tangent galvanometer is 1 ampere. If the resistance of the coil is 15 ohms, what p.d applied across its terminals will show a deflection of 45°?

10. কোন ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের সহিত শ্রেণীবদ্ধভাবে একটি রোধ যুক্ত আছে। এখন এই রোধবিশিষ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারের সহিত একটি রোধ যুক্ত করিলে 30° বিক্ষেপ হয়। রোধটি সরাইয়া লইলে বিচ্যুতির পরিমাণ হয় 45°। রোধটির মান 10 ওহ্‌ম হইলে গ্যাল্‌ভানোমিটারের রোধ কত? [7.3 ওহ্‌ম]

A tangent galvanometer is connected in series with a resistance when a cell is connected across the combination, the deflection is 30°. When the resistance is removed, the deflection becomes 45°. If the resistance is 10 ohms, find the galvanometer resistance.

11. কোন গ্যাল্‌ভানোমিটারের রোধ 14·6 ওহ্‌ম। উহাকে বর্তনীতে যুক্ত করিয়া 45° বিক্ষেপ পাওয়া গেল। উহার সহিত কত শাণ্ট যুক্ত করিলে বিক্ষেপ কমিয়া 30° হইবে? মূল প্রবাহ-মাত্রা স্থির ধরিয়া লও।

[20 ওহ্ম]

The resistance of a galvanometer is 15·6 ohm. It indicates a deflection of 45° in a circuit. What value of shunt is to be connected to it so that the deflection reduces to 30°. Assume that the current remains constant.

12. বার্লো'র চক্রের গঠন ও কার্যনীতি বর্ণনা কর।

Describe the construction and action of Barlow's Wheel. (Pat. 1944)

13. বৈদ্যুতিক মোটরের সরল চিত্র দিয়া উহার কার্যনীতি বুঝাইয়া দাও।

Draw a Simple diagram of an electric motor and explain its function. (cf. C. U. 1922, 26, 30 ; cf. Pat. 1944 ; Pat. 1947)

14. রোজের কম্পমান কুণ্ডলী পরীক্ষার বর্ণনা দাও।

Describe Roget's Vibrating Spiral experiment. (Pat. 1947)

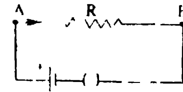
চতুর্থ পরিচ্ছেদ

তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল

(Heating Effects of Electric Current)

4.1. **তড়িৎ-প্রবাহে তাপ মুক্ত হয় (Heat is liberated by current flow) ঃ** তোমরা বৈদ্যুতিক দীপ্তি-বাতি দেখিয়াছ। ইহা যখন আলো দিতে থাকে, তখন, কিংবা আলো নিভাইয়া তৎক্ষণাৎ, ইহার গায়ে হাত দিলে দেখা যায় যে ইহা উত্তপ্ত হইয়া উঠিয়াছে। বাতির তারের তড়িৎ-প্রবাহের জন্য ইহা গরম হইয়া ওঠে।

4·1 নং চিত্রে একটি পরিবাহী R-এর A প্রান্ত হইতে B প্রান্তে তড়িৎ-প্রবাহ দেখানো হইয়াছে। আমরা বলি যে ধনাত্মক আধান উচ্চ বিভবের প্রান্ত A হইতে নিম্ন-বিভবের প্রান্ত B-এর দিকে চলিয়া প্রবাহ সৃষ্টি করিতেছে।



4·1

এখন, তোমরা জান, ধনাত্মক আধানকে **নিম্ন বিভব হইতে উচ্চ বিভবের দিকে** লইয়া যাইতে কার্য বা শক্তি ব্যয় করিতে হয়। এই শক্তি ধনাত্মক আধানের স্থিতিশক্তি হিসাবে সঞ্চিত থাকে। কাজেই, উপরের চিত্রে ধনাত্মক আধান যখন A হইতে B প্রান্তে যাইবে, তখন যেহেতু উহা **উচ্চ বিভব হইতে নিম্ন বিভবের** দিকে যাইবে, অতএব এই স্থিতিশক্তি মুক্ত হইবে ও তাপ হিসাবে বাহির হইবে। এই শক্তির উৎস হইল কোষের রাসায়নিক শক্তি।

4.2. **উদ্ভূত তাপের পরিমাণ—জুলের সূত্র (Amount of liberated Heat—Joule's Law) ঃ**

পরীক্ষায় দেখা গিয়াছে, R ওহ্‌ম রোধ-বিশিষ্ট কোন পরিবাহীর ভিতরে t সেকেণ্ড ধরিয়া C অ্যাম্পিয়ার মানের তড়িৎ প্রবাহ চলিলে ঐ তারে যে তাপ উৎপন্ন হয় তাহার পরিমাণ

$$H = \frac{C^2Rt}{J} \text{ ক্যালরি।}$$

এই J হইল তাপের কার্য-তুল্যাংক 4.2 জুল। দেখ, তড়িৎ, তাপ, কার্য, সমস্তই শক্তি বলিয়া তড়িৎ-প্রবাহে উদ্ভূত শক্তির সংকেতে J আসিয়া পড়িল।

এই সংকেতকে একটু বদলাইয়া অন্যভাবেও প্রকাশ করা যায়—

পরিবাহীর প্রান্তের বিভব-বৈষম্য V = CR,

$$\therefore \quad \frac{C^2Rt}{J} = \frac{CR.C.t}{J} = \frac{V.C.t}{J} \text{।}$$

J এর মান 4.2 ধরিলে,

$$H = \frac{C^2Rt}{4.2} = 0.24\, C^2Rt \text{ ক্যালরি।}$$

এই সত্যকে জুল প্রথমে সূত্রের আকারে প্রকাশ করেন।

জুলের সূত্রগুলি নিচে দেওয়া হইল।

জুলের সূত্র : (i) কোন নির্দিষ্ট রোধের পরিবাহীর মধ্যে নির্দিষ্ট সময় ধরিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ প্রবাহের বর্গানুপাতিক হয়,

অর্থাৎ R ও t স্থির থাকিলে $H \propto C^2$

(ii) প্রবাহের পরিমাণ ও সময় স্থির থাকিলে উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক,

অর্থাৎ C ও t স্থির থাকিলে, $H \propto R$।

(iii) রোধের পরিমাণ ও প্রবাহ স্থির থাকিলে উদ্ভূত তাপ প্রবাহের সময়ের সমানুপাতিক,

অর্থাৎ R ও C স্থির থাকিলে, $R \propto t$।

অতএব, R ও C ও t, তিনই পরিবর্তিত হইলে,

$$H \propto C^2Rt \text{।}$$

***দ্রষ্টব্য :** বুঝিতে পারিতেছ যে তড়িৎ-প্রবাহে উদ্ভূত শক্তি = J.H = C^2Rt জুল। প্রতি সেকেণ্ডে কার্যের পরিমাণ = $C^2Rt/t = C^2R$ ওয়াট।

4.3. বৈদ্যুতিক পরীক্ষার দ্বারা তাপের কার্য-তুল্যাংক নির্ণয় (Determination of the Mechanical Equivalent of Heat by Electrical Method) :

তড়িৎ-প্রবাহে পরিবাহীতে যে তাপ উদ্ভূত হয় তাহার পরিমাণ

$$H = \frac{C^2Rt}{J} \text{।}$$

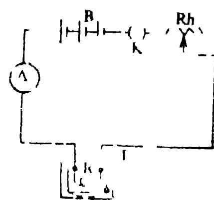
অতএব তড়িৎ-প্রবাহে উদ্ভূত তাপকে ক্যালরিমিতি প্রণালীতে মাপিয়া তাপের কার্য-তুল্যাংক J-এর মান বাহির করা যায়।

জুলের তড়িৎ-ক্যালরিমিটার (**Joule's Electrical Calorimeter**) যন্ত্র এই পরীক্ষার জন্য বিশেষ উপযোগী। •

এই যন্ত্রে একটি ক্যালরিমিটারের মধ্যে একটি পরিবাহী তারের কুণ্ডলী ঝোলানো থাকে। কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত ক্যালরিমিটারের অপরিবাহী ঢাকনার উপরে অবস্থিত দুইটি সংযোজক স্ক্রু-এর সহিত যুক্ত থাকে। ঢাকনাটির উপরের একটি ছিদ্র দিয়া একটি আলোড়ক S এবং অন্য একটি ছিদ্র দিয়া একটি থার্মমিটার T প্রবেশ করানো যায়। সমস্ত ক্যালরিমিটারকে একটি অপরিবাহী পাত্রের মধ্যে রাখা যায়।

পরীক্ষার জন্য ঢাকনা খুলিয়া ও আলোড়কের জল-তুল্যাংক বাহির করিয়া লওয়া হয়। অনেক সময়ে অবশ্য এই জল-তুল্যাংক দেওয়া থাকে।

শুষ্ক ক্যালরিমিটারকে প্রথমে ওজন করা হয়, ও পরে ইহার মধ্যে অপরিবাহী কোন তরল (তার্পিন তৈল, রেড়ির তৈল প্রভৃতি) এমন পরিমাণে নেওয়া হয় যে পরে যখন তারের কুণ্ডলী-সমেত ক্যালরিমিটারের ঢাকনা ক্যালরিমিটারের মুখে বসানো হইবে, তখন যেন কুণ্ডলীটি সম্পূর্ণভাবে তরলের মধ্যে ডুবিয়া যায়। তরলের ওজন লওয়া হয়। ইহার আপেক্ষিক তাপও পূর্বে কোন পরীক্ষা হইতে জানিয়া লওয়া হয়।



4·2

এখন ঢাকনা বসাইয়া R কুণ্ডলীকে তরলে ডুবানো হয় ও থার্মমিটারের সাহায্যে তরলের প্রারম্ভিক তাপমাত্রা মাপিয়া লওয়া হয়।

এইবার 4·2 নং চিত্রের মত করিয়া কুণ্ডলীকে তড়িৎ-বর্তনীতে যুক্ত করা হয়। K চাবী আটকাইয়া তড়িৎ-প্রবাহ চালু করা হয় ও সেই সংগে একটি স্টপ ঘড়ি চালাইয়া প্রবাহের সময় পাঠ করা হয়। আলোড়ক নাড়িয়া তরলের তাপমাত্রার সমতা রক্ষা করা হয়।

প্রবাহ চলিতে চলিতে যখন তরলের তাপমাত্রা 7—৮° সে. বৃদ্ধি পায় তখন প্রবাহ ও স্টপ ঘড়ি এক সংগে বন্ধ করা হয়।

মনে কর কুণ্ডলীর রোধ = R ওহ্‌ম,
প্রবাহের মাত্রা = C অ্যাম্পিয়ার,
প্রবাহের সময় = t সেকেণ্ড।
ক্যালরিমিটারের জল সম = W গ্রাম,
তরলের ভর = m গ্রাম,
তরলের আপেক্ষিক তাপ = s,
তরলের প্রারম্ভিক তাপমাত্রা = t_1° সে.,
তরলের অন্তিম তাপমাত্রা = t_2° সে.।

অতএব উদ্ভূত তাপ $H = (W + ms)(t_2 - t_1)$ ক্যালরি।

$$\therefore \quad (W + ms)\ (t_2 - t_1) = \frac{C^2Rt}{J}$$

$$\therefore \quad J = \frac{C^2Rt}{(W + ms)\ (t_2 - t_1)}\ ।$$

4.4. **অনুশীলন :**

(a) 1 ওহ্‌ম রোধের একটি পরিবাহীতে 20 মিনিট ধরিয়া 1·5 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হইল। উদ্ভূত তাপের পরিমাণ কত ?

উদ্ভূত তাপ $H = \frac{C^2Rt}{J}$ (C = প্রবাহ, R = রোধ, t = সময়, J = 4·2 জুল/ক্যালরি)।

$$= \frac{1{\cdot}5^2 \times 1 \times 20 \times 60}{4{\cdot}2} \text{ ক্যালরি}$$

$$= 643{\cdot}0 \text{ ক্যালরি।}$$

(b) 2·5 ওহ্‌ম রোধের একটি তারের কুণ্ডলীকে একটি ক্যালরিমিটারে গৃহীত তরলে ডুবাইয়া রাখা হইল। তরলের ভর 126·3 গ্রাম, আপেক্ষিক তাপ = 0·48, ক্যালরিমিটারের জলসম = 10·2 গ্রাম, এবং উহাদের প্রাথমিক তাপমাত্রা = 27·1° সে.। কুণ্ডলীর মধ্যে আধ ঘণ্টা ধরিয়া 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত করিলে তরলের তাপমাত্রা কত হইবে ?

আধ ঘণ্টা তড়িৎ-প্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপ

$$H = \frac{C^2Rt}{J} = \frac{1^2 \times 2{\cdot}5 \times 30 \times 60}{4{\cdot}2} \text{ ক্যালরি।}$$

$$= 1071{\cdot}43 \text{ ক্যালরি।}$$

মনে কর তরলের অন্তিম তাপমাত্রা হইবে t_2° সে.।

∴ তাপমাত্রার বৃদ্ধি $=(t_2-t_1)°$ সে.।

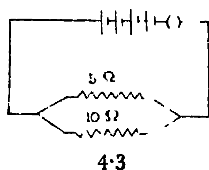
অতএব, $H=(W+ms)(t_2-t_1)$ সংকেত অনুসারে,

$$H=(10{\cdot}2+126{\cdot}3\times{\cdot}48)\;(t_2-27{\cdot}1)$$
$$=70{\cdot}82\;(t_2-27{\cdot}1)\text{।}$$

$$\therefore\quad 1071{\cdot}43=70{\cdot}82\,(t_2-27{\cdot}1)$$

$$\therefore\quad t_2=\frac{1071{\cdot}43}{70{\cdot}82}+27{\cdot}1$$
$$=15{\cdot}1+27{\cdot}1=42{\cdot}2°\text{ সে.।}$$

(c) চারিটি কোষ শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করিয়া একটি ব্যাটারীর দ্বারা 5 ওহ্‌ম ও 10 ওহ্‌ম সমান্তরাল ভাবে যুক্ত দুইটি রোধের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত করা হইতেছে। প্রতিটি কোষের তড়িচ্চালক বল 1·7 ভোল্ট ও অন্তঃরোধ 0·2 ওহ্ম হইলে প্রবাহের মান কত? প্রতিটি রোধে প্রতি সেকেণ্ডে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। (J=4·2 জুল/ক্যালরি)।



4·3

চারিটি কোষের মোট তড়িচ্চালক বল

$=4\times1{\cdot}7=6{\cdot}8$ ভোল্ট।

মোট অন্তঃরোধ

$=4\times0{\cdot}2=0{\cdot}8$ ওহ্‌ম।

পরিবাহী দুইটির তুল্য রোধ R হইলে,

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{5}+\frac{1}{10}=\frac{3}{10}$$

$$\therefore\quad R=\frac{10}{3}\text{ ওহ্‌ম।}$$

$$\therefore\text{ প্রবাহ } C=\frac{E}{R+r}=\frac{6{\cdot}8}{\frac{10}{3}+{\cdot}8}=\frac{6{\cdot}8}{\frac{10}{3}+\frac{8}{10}}$$

$$=\frac{51}{31}\text{ অ্যাম্পিয়ার।}$$

কোন পরিবাহীতে t সেকেণ্ড ধরিয়া C অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ হইলে

$$\text{তাপ } H=\frac{C^2Rt}{J}\text{।}$$

$$\therefore\text{ প্রতি সেকেণ্ডে উদ্ভূত তাপ}=\frac{C^2R}{J}\text{।}$$

অতএব, 5 ও 10 ওহ্‌ম রোধে প্রতি সেকেণ্ডে উদ্ভূত তাপ বাহির করিতে হইলে উহাদের প্রত্যেকের মধ্যের প্রবাহের মান বাহির করিতে হইবে।

প্রথমটির মধ্যে C_1 ও দ্বিতীয়টির মধ্যে C_2 পরিমাণ প্রবাহ থাকিলে,

$$C_1 \times 5 = C_2 \times 10$$

$$\therefore \quad \frac{C_1}{C_2} = \frac{2}{1}, \text{ অথবা } C_1 = 2C_2$$

আবার, $C_1 + C_2 = C = \frac{51}{31}$ অ্যাম্পিয়ার

$$\therefore \quad 3C_2 = \frac{51}{31}$$

বা $C_2 = \frac{17}{31}$ অ্যাম্পিয়ার।

$\therefore \quad C_1 = \frac{34}{31}$ অ্যাম্পিয়ার।

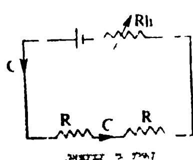
$\therefore$ 5 ওহ্‌ম রোধে প্রতি সেকেণ্ডে উদ্ভূত তাপ $= \frac{C_1{}^2 \times 5}{J} = \left(\frac{34}{31}\right)^2 \frac{5}{4 \cdot 2}$

$= 1 \cdot 432$ ক্যালরি।

10 ওহম রোধে প্রতি সেকেণ্ডে উদ্ভূত তাপ $= \frac{C_2{}^2 \times 10}{J} = \left(\frac{17}{31}\right)^2 \cdot \frac{10}{4.2}$

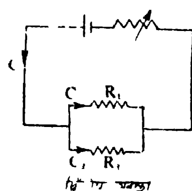
$= 0 \cdot 7158$ ক্যালরি।

(d) R_1 ও R_2 রোধের দুইটি পরিবাহীকে শ্রেণীসজ্জায় বসাইয়া বর্তনীতে যদি একই তড়িৎ প্রবাহিত করা যায় তবে দুই অবস্থায় রোধ দুইটিতে উদ্ভূত তাপের হারের তুলনা কর।



(a)

4·4



(b)

প্রথম অবস্থায় R_1 ও R_2 উভয়ের মধ্যে একই প্রবাহ C যায়।

অতএব t সেকেণ্ডে উদ্ভূত মোট তাপ

$$=\frac{C^2R_1t}{J}+\frac{C^2R_2t}{J}$$

$$=\frac{C^2}{J}\,t\,(R_1+R_2)\quad .$$

$$\therefore \text{ তাপ উদ্ভবের হার}=\frac{C^2}{J}\,(R_1+R_2)$$

দ্বিতীয় অবস্থায়, দুইটি রোধে বিভিন্ন মানের রোধ যায়।

$$C_1R_1=C_2R_2$$

$$\therefore \quad C_1=C_2\frac{R_2}{R_1}.$$

$$\text{কিন্তু } C_1+C_2=C=C_2\frac{R_2}{R_1}+C_2=C_2\left(\frac{R_2}{R_1}+1\right)$$

$$=C_2.\frac{R_1+R_2}{R_1}$$

$$\therefore \quad C_2=C\,\frac{R_1}{R_1+R_2},$$

$$\text{এবং}\quad C_1=C.\frac{R_1}{R_1+R_2}.$$

$$\therefore \; t \text{ সেকেণ্ডে উদ্ভূত তাপ}=\frac{C_1{}^2R_1t}{J}+\frac{C_2{}^2R_2{}^2t}{J}$$

$$=C^2\left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)^2.\;\frac{R_1t}{J}+C_2\left(\frac{R_1{}^2}{R_1+R_2}\right).\;\frac{R_2t}{J}$$

$$\therefore \text{ তাপ উদ্ভবের হার}=\frac{C^2}{(R_1+R_2)^2}\;\frac{\{R_1R_2{}^2+R_2R_1{}^2\}}{J}$$

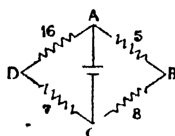
$$=\frac{C^2}{(R_1+R_2)}.\;\left\{\frac{C_1R_2(R_1+R_2)}{J}\right\}$$

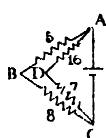
$$=\frac{C^2.R_1R_2}{J(R_1+R_2)}.$$

$$\therefore \text{ দুইটি হারের অনুপাত}=\frac{C^2}{J}.\;(R_1+R_2)\Big/\frac{C^2}{J}.\;\frac{R_1R_2}{(R_1+R_2)}$$

$$=\frac{(R_1+R_2)^2}{R_1R_2}\quad।$$

(e) 5, 8, 7 ও 16 ওহ্‌ম রোধের চারিটি পরিবাহী পরপর সাজাইয়া একটি সামন্তরিক ABCD গঠন করা হইয়াছে। সামন্তরিকের A ও C বিন্দুর মধ্যে একটি 29·9 ভোল্ট ব্যাটারী যুক্ত আছে। AB, BC, CD ও DC বাহুতে উদ্ভূত তাপের তুলনা কর;





4·5

বর্তনীর সরল চিত্র হইতে দেখ, ABC ও ADCকে দুইটি সমান্তরাল বাহু বলা যায়। ABC বাহুর মোট রোধ = 13 ওহ্ম ও ADC বাহুর রোধ 23।

আবার, তুল্যরোধ R হইলে, $\frac{1}{R} = \frac{1}{13} + \frac{1}{23} = \frac{36}{13 \times 23}$

$$\therefore \quad R = \frac{13 \times 23}{36} \text{।}$$

$$\therefore \quad \text{মোট প্রবাহ} = \frac{29·9}{\frac{13 \times 23}{36}} = \frac{29·9}{13 \times 23} \times 36 = 3·6 \text{ অ্যাম্পিয়ার}$$

ABC বাহুতে C_1 ও ADC বাহুতে C_2 প্রবাহ হইলে,

$$C_1 = C.\frac{33}{36} = 3·6 \times \frac{23}{36} = 2·3 \text{ অ্যাম্পিয়ার,}$$

এবং $C_2 = 1·3$ অ্যাম্পিয়ার।

অতএব, 5, 8, 7 ও 16 ওহ্‌ম রোধগুলিতে যথাক্রমে 2·3, 2·3, 1·3 ও 1·3 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ যাইবে।

t সেকেণ্ডে 5 ওহ্‌ম রোধে উদ্ভূত তাপ $= \frac{2·3^2 \times 5 \times t}{J}$ ক্যালরি

$$= \frac{26·45t}{J} \text{ ক্যালরি ;}$$

„ 8 ওহ্ম „ „ „ $= \frac{2·3^2 \times 8 \times t}{J}$ ক্যালরি

$$= \frac{42·32t}{J} \text{ ক্যালরি ;}$$

t সেকেণ্ডে 7 ওহ্‌ম রোধে উদ্ভূত তাপ $= \frac{1 \cdot 3^2 \times 7 \times t}{J}$ ক্যালরি

$= \frac{11 \cdot 83t}{J}$ ক্যালরি ;

„ 16 ওহ্‌ম „ „ $= \frac{1 \cdot 3^2 \times 16 \times t}{J}$ ক্যালরি

$= \frac{27 \cdot 04t}{J}$ ক্যালরি।

∴ চারিটি রোধে উদ্ভূত তাপের অনুপাত = 2645 : 4232 : 1183 : 2704।

(f) একটি কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য 20 ভোল্ট। উহার মধ্যে 40 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ গেলে এক ঘণ্টায় কত শক্তি ব্যয়িত হইবে? উদ্ভূত তাপের পরিমাণ কত? (H. S. Tech. 1960)

উদ্ভূত তাপের পরিমাণ $= \frac{VCt}{J}$

$= \frac{20 \times 40 \times 60 \times 60}{4 \cdot 2}$ ক্যালরি।

$= 6857014 \cdot 3$ ক্যালরি।

এক ঘণ্টায় ব্যয়িত শক্তি $= H \times 4 \cdot 2$ জুল

$= 28800000$ জুল।

(g) 25 ওহ্‌ম রোধের একটি কুণ্ডলী একটি ক্যালরিমিটারে ডুবানো আছে। ক্যালরিমিটারের জল-তুল্যাংক = 7·4 গ্রাম এবং উহার মধ্যে 0·48 আপেক্ষিক তাপের 51·1 গ্রাম তরল আছে। তড়িৎ প্রবাহিত হইলে কুণ্ডলীর সহিত শ্রেণীবদ্ধভাবে সংযুক্ত ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটারে 45° বিক্ষেপ হয়। গ্যাল্‌ভানোমিটারের তুল্যাংক 0·035 e. m. u. হইলে, এবং 15 মিনিটে তাপমাত্রার বৃদ্ধি 20·6° সে. হইলে তাপের কার্য-তুল্যাংক কত?

প্রবাহের ফলে উদ্ভূত তাপ $= \frac{C^2Rt}{J}$

[$C =$ প্রবাহ, $R =$ রোধ, $t =$ সময়]

আবার ক্যালরিমিটার ও তরলের গৃহীত তাপ $= (W + ms)(t_2 - t_1)$

[$W =$ ক্যালরিমিটারের জল-তুল্যাংক, $m =$ তরলের পরিমাণ, $s =$ তরলের আপেক্ষিক তাপ $(t_2 - t_1) =$ তাপমাত্রার বৃদ্ধি]।

উভয়ে সমান হইলে, $\frac{C^2Rt}{} = (W + ms)(t_2 - t_1)$

$$\therefore \quad J = \frac{C^2Rt}{(W+ms)(t_2 - t_1)} \text{।}$$

এই সংকেতে C ছাড়া বাকী সবই দেওয়া রহিয়াছে।

আবার ট্যান্‌জেণ্ট গ্যাল্‌ভানোমিটার দিয়া একই প্রবাহ যাইতেছে।

$\therefore \quad C = 10 \text{ K} \tan \theta = 10 \times .035 \times \tan 45° = 0.35$ অ্যাম্পিয়ার।

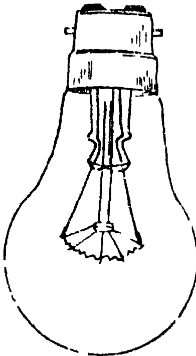
$$\therefore \quad J = \frac{.35^2 \times 25 \times 15 \times 60}{(7.4 \times 51.1 \times .48) \times 20.6} \text{ জুল/ক্যালরি}$$

$= 4.175$ জুল/ক্যালরি।

4.5. তড়িৎ-প্রবাহে তাপ-শক্তির উদ্ভবের ব্যবহারিক প্রয়োগ :

তড়িৎ-প্রবাহের ফলে পরিবাহীর মধ্যে যে তাপ উদ্ভূত হয় তাহাকে বিভিন্ন কাজে ব্যবহার করা যায়। তোমরা বৈদ্যুতিক দীপ্তি-বাতি নিশ্চয় দেখিয়াছ। ইহার মধ্যের তার প্রবাহের ফলে এত উত্তপ্ত হয় যে আলো দেয়। ইলেকট্রিক ইস্ত্রী, হিটার প্রভৃতিও এইরকম প্রয়োগের উদাহরণ।

অনেক সময়ে তড়িৎ-প্রবাহে উদ্ভূত শক্তিকে কার্যশক্তি হিসাবে ব্যবহার করা হয়। বৈদ্যুতিক পাখা, বৈদ্যুতিক মোটর ইহার উদাহরণ। বৈদ্যুতিক মোটরের ব্যবহার তোমরা ট্রামগাড়ী ও বৈদ্যুতিক ট্রেনে দেখিতে পাইবে। বাড়ীতে জল তুলিবার পাম্পকে চালাইবার জন্য অনেক সময়ে বৈদ্যুতিক মোটর ব্যবহার করা হয়।



4·6

4.6. বৈদ্যুতিক দীপ্তি-বাতি (Electric Glow lamp) :

একটি কাচের বাল্‌বের ভিতরটা বায়ুশূন্য করিয়া অথবা উহার মধ্যে নিষ্ক্রিয় গ্যাস (যেমন আর্গন ও নাইট্রোজেনের মিশ্রণ) ভরিয়া তাহার মধ্যে টাংষ্টেন ধাতুর একটি সরু তারের কুণ্ডলী (coil) ঝুলানো থাকে। বাল্‌বের মুখে একটি অন্তরক পদার্থের টুপি থাকে, তাহার মধ্য দিয়া দুইটি মোটা তামার তার ঢুকাইয়া টাংষ্টেনের তারের দুই প্রান্তে যুক্ত করা হয়। তামার তারের দুই প্রান্ত বাল্‌বের টুপির উপরে দুই টুকরা

রাংঝালের সহিত যুক্ত থাকে। টুপিটি সাধারণতঃ একটি পিতল বা অন্য ধাতুর খোলে ঢাকা থাকে।

বাল্‌বের তারের দুই প্রান্ত কোন নির্দিষ্ট বিভব-বৈষম্যের সহিত যুক্ত করিলে তারের মধ্য দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হইযা উহা খুব উত্তপ্ত হইয়া উঠে ও দীপ্তি দিতে থাকে। সাধাবণতঃ বাড়ীতে ব্যবহৃত বাল্‌ব্‌গুলি জ্বালাইবার জন্য তাবের দুই প্রান্তে 220-230 ভোল্ট বিভব-বৈষম্য লাগে। ইহার অপেক্ষা কম বিভব-বৈষম্যে এই বাল্‌ব্‌ ব্যবহাব করিলে তারের ভিতবে এত কম প্রবাহ যায় যে তাব হয়তো কেবল লাল হইয়া ওঠে আলো দিতে পাবে না।

যে বাল্‌ব্‌ কম বিভব-বৈষম্যে ব্যবহায, তাহা বেশী বিভব-বৈষম্যে ব্যবহার করিলে প্রবাহের পবিমাণ এত বেশী হয় যে তাব পুড়িয়া যায, অর্থাৎ বাল্‌ব্‌ fused হইযা যায।

বাল্‌বেব ভিতর টাংষ্টেন তার ব্যবহাব কবিবাব কাবণ হইল, টাংষ্টেনেব গলনাংক খুব উচ্চ হওযায় উহা প্রবাহের উত্তাপে গলে না। সাধারণতঃ গ্যাসে ভবা বাল্‌বে তাপমাত্রা বেশী হয ও শক্তি ব্যয় কম হয।

অনেক সময়ে তারটিকে আগে স্প্রিং-এব মত পাকাইয়া তাহা দিয়া কুণ্ডলী করা হয়। ইহাকে কুণ্ডলিত কুণ্ডলী বাতি (coiled coil lamp) বলে। ইহাব আলো দিবার ক্ষমতা বেশী হয।

দীপ্তি-বাতিতে যে শক্তি ব্যযিত হয তাহাকে তাপ-শক্তিব হিসাবে প্রকাশ না করিযা কার্য-শক্তির এককে প্রকাশ কবা হয। 230 ভোল্ট—60 ওযাট বাতি বলিতে বুঝায এমন বাতি যে বাতিকে জ্বালাইবার জন্য উহার তাবের দুই প্রান্তে 230 ভোল্ট বিভব-বৈষম্য ব্যবহার করিতে হয়, এবং উহার ক্ষমতা 60 ওয়াট, অর্থাৎ উহা প্রতি সেকেণ্ডে 60 জুল শক্তি ব্যয করে।

ইহা হইতে বাতির মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহ কত এবং তারের বোধ সহজেই বাহির করা যায়।

তাপের পবিমাণ $= \frac{Vct}{J}$ ক্যালরি,

$\therefore$ কার্যের পরিমাণ $= \frac{Vct}{J} \times J = Vct$ জুল ;

$\therefore$ প্রতি সেকেণ্ডে কার্যের পরিমাণ $= \frac{Vct}{t} = Vc$ ওয়াট।

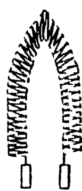
$\therefore$ প্রবাহের পরিমাণ $C = \frac{60}{230} = \frac{6}{23}$ অ্যাম্পিয়ার।

$$\text{রোধের পরিমাণ} = \frac{V}{C} = \frac{230}{6/23} = \frac{230 \times 23}{6}$$

$$= 881\frac{2}{3} \text{ ওহ্ম}$$

গ্যাসে-ভরা দীপ্তি-বাতি প্রতি ওয়াটে প্রায় 2 দীপ-শক্তি (candle-power) আলো দেয়, আর শূন্য দীপ্তি-বাতি প্রতি 1·2 ওয়াটে মাত্র 1 দীপ-শক্তি পরিমাণ।

4.7. বৈদ্যুতিক ইস্ত্রী (Electric Iron) ও বৈদ্যুতিক হিটার (Electric Heater) :



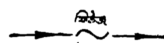
4·7
ইলেকট্রিক ইস্ত্রীর তারের সজ্জা

এই যন্ত্রের ভিতরে সাধারণতঃ নিকেল, ক্রোমিয়াম ও লোহার সংকর মিশ্রিত নিক্রোম ধাতুর সরু তার ভরা থাকে। এই তারের দুই প্রান্ত যন্ত্রের বাহিরে থাকে ও উহার মধ্যে নির্দিষ্ট বিভব-বৈষম্য যুক্ত করিলে তারের মধ্যে প্রবাহ যায় ও তার উত্তপ্ত হইয়া উঠে। নিক্রোম ধাতুর রোধাংক ও গলনাংক খুব উচ্চ।

বৈদ্যুতিক ইস্ত্রী ও বৈদ্যুতিক হিটারের ক্ষমতা খুব বেশী হয়, 250 হইতে 1500 ওয়াট পর্যন্ত ক্ষমতার ইস্ত্রী ও হিটার পাওয়া যায়।

4.8. ফিউজ (Fuse) : বাড়ীতে বিদ্যুৎ-প্রবাহ যদি খুব বেশী হয়, তবে তারের বিভিন্ন অংশ এত উত্তপ্ত হইয়া যাইতে পারে যে উহা জ্বলিয়া উঠিতে পারে। কাছাকাছি কোন দাহ্য পদার্থ থাকিলে গোটা বাড়িতে আগুন লাগিয়া যাইতে পারে।

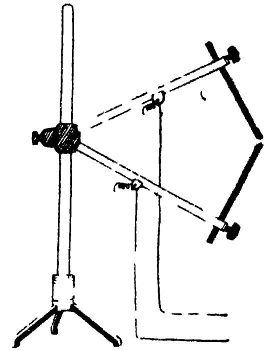
এই অবস্থা হইতে বাড়ীকে রক্ষা করিবার জন্য সরবরাহ ব্যবস্থার পথে ফিউজ ব্যবহার করা হয়। ফিউজ প্রকৃত পক্ষে ছোট একটুকরা পরিবাহী তার, ইহার তাপ-রোধক ক্ষমতা কম ও রোধাংক বেশী হয়। সাধারণতঃ টিন ও সীসার সংকর বা তামার সরু তার এজন্য ব্যবহৃত হয়। এই তার একটি খোলের মধ্যে জুড়িয়া খোলটি বর্তনীর সহিত শ্রেণী সজ্জায় রাখা হয়। অতিরিক্ত প্রবাহ গেলে এই তারটি এত উত্তপ্ত হইয়া ওঠে যে উহা গলিয়া যায় ও বর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন হইয়া যায়।



4 8

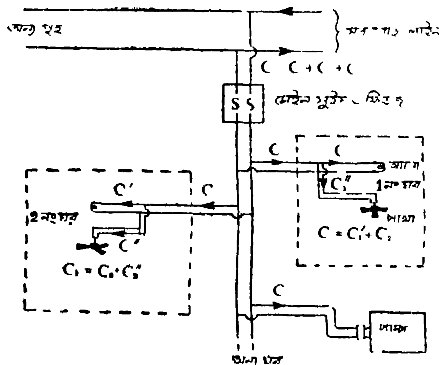
দূর হইতে বিস্ফোরক যেমন ডিনামাইট, কর্ডাইট ফাটাইবার জন্য বিস্ফোরক ফিউজ ((Blasting Fuse) ব্যবহার করা হয়। বিস্ফোরকের মধ্যে প্ল্যাটিনাম তারের ফিউজ রাখিয়া উহার দুই প্রান্তে একটি দীর্ঘ তড়িৎ-বর্তনী যুক্ত করা হয়। বর্তনীতে তড়িৎ পাঠানো হয়। এই প্রবাহের ফলে সরু প্ল্যাটিনামের তার উত্তপ্ত হইয়া ওঠে ও বিস্ফোরককে জ্বালাইয়া দেয়।

4.9. **বৈদ্যুতিক আর্ক** (Electric Arc) : দুইটি মোটা পরিবাহীর টুকরা পরস্পর যুক্ত করিয়া উহার দুই প্রান্তে 100 – 150 ভোল্ট বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে উহার মধ্যে উচ্চ-শক্তির তড়িৎ প্রবাহিত হয়। এখন ধীরে ধীরে পরিবাহীর দুটিকে পরস্পর হইতে সামান্য সরাইয়া লইলেও প্রবাহ বন্ধ হয় না, উহাদের মধ্যের ফাঁক দিয়া চলিতে থাকে। এই প্রবাহকে বৈদ্যুতিক আর্ক বলে। পরিবাহীর দণ্ড দুটির প্রান্ত প্রচণ্ড উত্তপ্ত হইয়া তীব্র সাদা আলো দিতে থাকে। সাধারণতঃ দণ্ড দুটি কার্বনের হয। ধনাত্মক কার্বনের দণ্ডটি ক্রমে ক্রমে ক্ষয় হইযা যাইতে থাকে।



4·9

4.10. **বিদ্যুৎ-সরবরাহ ব্যবস্থা** (Electric supply) : কোন গৃহে



4·10

বিদ্যুৎ-সরবরাহ ব্যবস্থা থাকে একটি নির্দিষ্ট বিভব-মাত্রায়। বিদ্যুৎ সরবরাহ-কারী কোম্পানী তাহাদের কারখানায় বিভিন্ন উপায়ে বিদ্যুৎ-শক্তি উৎপাদন

করিয়া তাহা গৃহে গৃহে পরিবেশনের ব্যবস্থা করে। কোন বাড়ির যতগুলি আলো পাখা ইত্যাদি থাকে তাহাদের সবারই প্রান্তে একই বিভব-বৈষম্য রক্ষা করা হয়, সেজন্য সমস্তগুলিই সমান্তরাল সজ্জায় থাকে (চিত্র 4·10)।

চিত্রে একটি বাড়ীর বিদ্যুৎ-সরবরাহ ব্যবস্থা কি রকম হয় দেখিতে পাইবে। লক্ষ্য করিয়া দেখ আলো, পাখা, মোটর প্রভৃতি সমান্তরাল সজ্জায় থাকে বলিয়া প্রতিটির প্রান্তেই নির্দিষ্ট বিভব-বৈষম্য কাজ করে। তাহা ছাড়া, প্রতিটি শাখায় যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ চলে, মূল বর্তনীতে তাহাদের যোগফলের সমান প্রবাহের সৃষ্টি হয়।

প্রতিটি পরিবাহীতে যে পরিমাণ শক্তি ব্যয়িত হয, তাহাদের যোগ করিয়া সমস্ত বাড়িতে ব্যবহৃত বিদ্যুৎ-শক্তির হিসাব পাওয়া যায়।

4.11. বিদ্যুৎ-শক্তির ব্যবহারিক একক :

যদিও কোন পরিবাহীতে ব্যবহৃত বিদ্যুৎ-শক্তিকে জুল-এককে প্রকাশ করা যায। তবুও হিসাবের সুবিধার জন্য বিদ্যুৎ-শক্তি ব্যবহারের ক্ষেত্রে নূতন একক ব্যবহৃত হয়।

যেমন, কোন বর্তনীর ক্ষমতা W ওয়াট (অর্থাৎ ঐ বর্তনীতে প্রতি সেকেণ্ডে W জুল শক্তি ব্যয় হয়) হইলে, উহার মধ্যে t সেকেণ্ড প্রবাহ চলিলে বলা হয় যে W.t ওয়াট-সেকেণ্ড শক্তি ব্যয়িত হইল।

সুতরাং শক্তির নূতন এককের নাম ওয়াট-সেকেণ্ড (Watt-Second)। কোন বর্তনীর ক্ষমতা 1 ওয়াট হইলে, উহাতে 1 সেকেণ্ডে 1 ওয়াট-সেকেণ্ড শক্তি ব্যয়িত হয়।

সেইরূপ 1 ওযাট ক্ষমতা বিশিষ্ট বর্তনীতে 1 মিনিটে যে শক্তি ব্যয়িত হয় তাহাকে বলে 1 ওয়াট-মিনিট (Watt-minute)।

স্বভাবতঃই 1 ওয়াট মিনিট = 60 ওয়াট-সেকেণ্ড।

একইরূপে, 1 ওয়াট-ঘণ্টা (Watt-hour) এককও ব্যবহার করা হয়।

কোন বর্তনীতে W ওয়াট ক্ষমতা থাকিলে H ঘণ্টায় উহাতে মোট W.H ওয়াট-ঘণ্টা শক্তি ব্যয় হয়।

1000 ওয়াট-ঘণ্টায় 1 কিলোওয়াট-ঘণ্টা (Kilowatt-hour বা K.W.H) হয়। বিদ্যুৎ-সরবরাহ কম্পানী 1 KWH শক্তিকে 1 একক শক্তি ধরিয়া লইয়া ইহার হিসাবে মূল্য আদায় করে। সেজন্য 1 KWH-কে 1 B.O.T. (Board of Trade) একক বলা হয়।

এই এককের সুবিধা হইল যে ইহার হিসাব খুব সুবিধাজনক।

যেমন ধর, 60 ওয়াট বাতি দিনে 5 ঘণ্টা করিয়া 15 দিন জ্বলিলে $60 \times 5 \times 15 = 4500$ ওয়াট-ঘণ্টা $= 4 \cdot 5$ KWH বা $4 \cdot 5$ ইউনিট শক্তি ব্যয় হয়।

এই হিসাব জুল এককে বাহির করিলে কি হইত দেখিবে ?

60 ওয়াট = 60 জুল/সেকেণ্ড।

15 দিনে 5 ঘণ্টা = 75 ঘণ্টা = $75 \times 60 \times 60$ সেকেণ্ড।

∴ মোট ব্যয়িত শক্তি = $60 \times 75 \times 60 \times 60$ জুল।

= 16,200,000 জুল।

ব্যবহারিক একক ও মূল এককের সম্বন্ধ

1 ওয়াট-সেকেণ্ড = 1 ওয়াট × 1 সেকেণ্ড = 1 জুল।

1 ওয়াট-মিনিট = 60 ওয়াট-সেকেণ্ড = 60 জুল।

1 ওয়াট-ঘণ্টা = 3600 ওয়াট-সেকেণ্ড = 3600 জুল।

1 কিলো-ওয়াট ঘণ্টা = 1000×3600 ওয়াট-সেকেণ্ড

= 3,600,000 জুল।

বৈদ্যুতিক মোটর, পাম্প প্রভৃতির ক্ষমতা সাধারণতঃ অশ্ব-ক্ষমতায় দেওয়া থাকে। ইহাকে ওয়াটে রূপান্তরিত করিয়া লইলেই হিসাব সহজ হইয়া যায়।

1 H. P. = 746 ওয়াট।

*** মনে রাখিও, ওয়াট = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার।**

4.12. **অনুশীলন ঃ**

(*a*) একটি রেল গাড়ীতে 13টি বাতি আছে। ইহারা প্রত্যেকে 15 ভোল্টে জ্বলে ও $1 \cdot 2$ অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ-মাত্রা দেয়। একটি বাতির রোধ কত ? রেলগাড়ীতে কত ক্ষমতার বিদ্যুৎ-শক্তি ব্যবহৃত হইতেছে ?

প্রতিটি বাতির রোধ R হইলে, $R = \frac{15}{1 \cdot 2} = 12 \cdot 5$ ওহ্ম।

13টি বাতির মোট প্রবাহ-মাত্রা = $13 \times 1 \cdot 2 = 15 \cdot 6$ অ্যাম্পিয়ার।

∴ ক্ষমতা = $15 \times 15 \cdot 6 = 234$ ওয়াট।

(*b*) একটি 50 ওয়াট বাতি দিনে 5 ঘণ্টা করিয়া জ্বলিলে এপ্রিল মাসে ইহা জ্বালাইবার ব্যয় কত হইবে ? (1 B.O.T এককের মূল্য = 20 নয়া পয়সা)।

এপ্রিল মাসে 30 দিন।

মোট শক্তি ব্যয়ের পরিমাণ $=50\times5\times30$ ওয়াট-ঘণ্টা

$=\frac{50\times5\times30}{1000}$ কিলো-ওয়াট ঘণ্টা বা B.O.T একক

$=7\cdot5$ B.O.T একক।

$\therefore$ খরচ $=7\ 5\times20=1$ টাকা 50 ন. প.।

(*c*) একটি বৈদ্যুতিক বাতির বোধ 400 ওহ্‌ম। ইহাকে 200 ভোল্ট সরবরাহে জ্বালানো হয়। 1 কিলো-ওযাট-ঘণ্টার ব্যয় 3 আনা হইলে বাতিটিকে 10 ঘণ্টা জ্বালাইবার খরচ কত হইবে? (C. U. 1950)

মোট শক্তি $=\frac{\text{ভোল্ট}\times\text{অ্যাম্পিযার}\times\text{ঘণ্টা}}{1000}$ কিলো-ওযাট ঘণ্টা।

ভোল্ট দেওয়া আছে, অ্যাম্পিয়াব বাহির করিতে হইবে।

$C=\frac{V}{R}=\frac{200}{400}=\frac{1}{2}$ অ্যাম্পিয়াব।

$\therefore$ শক্তি $=\frac{200\times\frac{1}{2}\times10}{1000}=1$ K.W.H

$\therefore$ খবচ $=3$ আনা।

(*d*) একটি বাড়ির বিদ্যুৎ সববরাহ ব্যবস্থা নিম্নরূপ—

5টি 40 ওযাট বাতি, 4টি 60 ওয়াট বাতি, 3টি 100 ওযাট বাতি, দিনে 5 ঘণ্টা করিযা জ্বলে; 5টি 70 ওয়াট পাখা দিনে 10 ঘণ্টা করিয়া চলে; একটি 0 1 অশ্ব-ক্ষমতা বিশিষ্ট পাম্প দিনে 5 ঘণ্টা করিয়া চলে। বিদ্যুৎ-শক্তির দাম 1 B. O. T. এককে 20 ন. প. হইলে 30 দিনে মাসে ঐ বাড়ীর বিদ্যুৎ ব্যবহারেব ব্যয় কত হইবে?

5টি 40 ওযাট বাতি দিনে 5 ঘণ্টা জ্বলিযা মোট শক্তি ব্যয করে

$=5\times40\times5=1000$ ওযাট-ঘণ্টা $=1$ ইউনিট।

4টি 60 ওয়াট বাতি দিনে 5 ঘণ্টা জ্বলিয়া মোট শক্তি ব্যয় করে

$=4\times60\times5=1200$ ওয়াট-ঘণ্টা $=1\ 2$ ইউনিট।

3টি 100 ওয়াট বাতি দিনে 5 ঘণ্টা জ্বলিলে ব্যয়িত শক্তি

$=3\times100\times5=1500$ ওয়াট-ঘণ্টা $=1\cdot5$ ইউনিট।

5টি 70 ওয়াট পাখা দিনে 10 ঘণ্টা চলিলে ব্যয়িত শক্তি

$=5\times70\times10=3500$ ওয়াট-ঘণ্টা $=3\ 5$ ইউনিট।

1টি 0·1 H.P. অর্থাৎ 74·6 ওয়াট পাম্প দিনে 5 ঘণ্টা চলিলে ব্যয়িত শক্তি

$= 74·6 \times 5 = 373·0$ ওয়াট-ঘণ্টা $= 3·73$ ইউনিট।

$\therefore$ প্রতিদিন ব্যয়িত শক্তি

$= 1 + 1·2 + 1·5 + 3·5 + 3·73 = 10·93$ ইউনিট।

30 দিনে ব্যয় $= 30 \times 10·93 = 327·9$ ইউনিট।

$\therefore$ খরচ $= 327·9 \times 20 = 65$ টাকা 58 ন. প.।

(c) একটি বাড়িতে প্রতিটি 400 ওহ্‌ম বোধের 15টি বাতি, প্রতিটি 100 ওয়াট ক্ষমতার 5টি পাখা, এবং $\frac{1}{10}$ অশ্ব-ক্ষমতার একটি বৈদ্যুতিক মোটর আছে। প্রত্যেকে দিনে 6 ঘণ্টা করিয়া চলিলে 30 দিনের মাসে বিদ্যুতের ব্যয় কত হয়? (বিভব-ক্ষমতা = 220 ভোল্ট, বিদ্যুৎ-শক্তির মূল্য-হার = প্রতি ইউনিটে 3 আনা)।

বাতিগুলির ক্ষমতা আগে বাহির করিয়া লইতে হইবে।

ওয়াট = ভোল্ট $\times$ অ্যাম্পিয়ার।

আবার, $C = \frac{V}{R} = \frac{220}{400} = ·55$ অ্যাম্পিয়ার।

প্রতিটি বাতির ক্ষমতা $= 220 \times ·55 = 121$ ওয়াট।

$\therefore$ 15টি বাতির ক্ষমতা $= 15 \times 121 = 1815$ ওয়াট।

5টি পাখার ক্ষমতা $= 5 \times 100 = 500$ ওয়াট।

1টি মোটরের ক্ষমতা $= \frac{1}{10} \times 746 = 74·6$ ওয়াট।

$\therefore$ মোট ক্ষমতা $= 2389·6$ ওয়াট।

$\therefore$ 1 মাসে মোট ব্যয়িত শক্তি $= \frac{2389·6 \times 6 \times 30}{1000}$ ইউনিট

$\therefore$ মূল্য $= \frac{2389·6 \times 6 \times 30}{1000} \times 3$ আনা $= 80$ টাকা $10·384$ আনা।

(*f*) একটি গ্রামে বিদ্যুৎ সরবরাহের জন্য 200 ভোল্ট বিভবে 40 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহের প্রয়োজন হয়। এই বিদ্যুৎ আসে 125 কিলোমিটার দূরের কোন শহরের ডায়নামো হইতে। সেই ডায়নামোতে 220 ভোল্ট বিভবে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয়।

(i) শহর হইতে গ্রাম পর্যন্ত সরবরাহ লাইনের প্রতি কিলোমিটারের রোধ কত?

(ii) গ্রামে 10 ঘণ্টায় কত B. O. T. একক শক্তি ব্যবহৃত হয় ?

(iii) সরবরাহ লাইনে ঐ সময়ে কত শক্তি নষ্ট হয় ?

(i) প্রবাহমাত্রা = 40 অ্যাম্পিয়ার।

সরবরাহ লাইনের বিভব-পতন—220 − 200 = 20 ভোল্ট।

∴ সরবরাহ লাইনের রোধ $= \frac{V}{C} = \frac{20}{40} = 0{\cdot}5$ ওহ্‌ম।

(ii) গ্রামে 10 ঘণ্টায় ব্যয়িত শক্তি = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার × ঘণ্টা

= 200 × 40 × 10 ওয়াট-ঘণ্টা

= 80 ইউনিট।

(iii) ডায়নামোতে 10 ঘণ্টায় উৎপন্ন শক্তি = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার × ঘণ্টা

= 220 × 40 × 10 ওয়াট-ঘণ্টা

= 88 ইউনিট।

∴ লাইনে নষ্ট শক্তি = 88 − 80 = 8 ইউনিট।

প্রশ্নমালা

1. সংজ্ঞা লিখ : ওয়াট, জুল, কিলোওয়াট-ঘণ্টা, B. O. T একক।

Define : Watt, Joule, Kilowatt-hour, B. O. T. unit.

(U. P. B. 1932)

2. তড়িৎ-বর্তনীতে তাপ উদ্ভবের সূত্র বর্ণনা কর।

State Joule's Law regarding the development of heat in an electrical circuit. (C. U. 1927, 30, 42, 44, 45, 50, 54, 57 ; Dac. 1934. Pat 1943, 48, All. 1944, 46 ; Cambridge).

3. তড়িৎ-প্রবাহের সাহায্য লইয়া কিভাবে তাপের কার্য-তুল্যাংক নির্ণয় করা যায় ? উহার মান কত ?

How can the Mechanical Equivalent of Heat be determined by electrical method ? What is its value ?

(C. U. 1927 ; Dac 1935 ; U. P. B. 1944).

4. একটি বৈদ্যুতিক দীপ্তি-বাতির গঠন ও কার্যনীতি বর্ণনা কর। একটি 220 ভোল্ট, 60 ওয়াট বাতির ভিতরে কত প্রবাহ চলে ?

[0·27 অ্যাম্পিয়ার]।

Describe the construction and principle of action of an electric glow lamp. (U. P. B. 1932, 42).

What is the amount of current drawn by a 220V, 60W lamp?

5. একটি আর্ক-বাতির গঠন বর্ণনা কর।

Describe the construction of an arc lamp. (Del. 1941 ; All. 1921 ; U. P. B. 1940).

6. বাড়িতে বিদ্যুৎ-সরবরাহের পদ্ধতি একটি সরল চিত্র আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও।

Explain with the help of a simple diagram the distribution of electrical circuit in household supplies.

7. 5 ওহ্‌ম রোধের একটি পরিবাহীর ভিতর দিয়া 0·3 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চলিতেছে। কার্যের হার এবং এক ঘণ্টায় কতটা তাপ উৎপন্ন হইবে হিসাব কর। [0·45 ওয়াট, 385·7 ক্যালরি]।

A current of 0·3 amp. is flowing through a 5 Ohm conductor. Find the power used and the heat produced in one hour.

8. 1 ওহ্‌ম রোধের দুই প্রান্তে 1·5 ভোল্ট বিভব-বৈষম্য বজায় রাখিলে কার্যের হার কত হইবে, এবং 20 মিনিটে কতটুকু তাপ উদ্ভূত হইবে ?

[2·25 ওয়াট, 642·9 ক্যালরি]।

9. (i) শ্রেণীসজ্জায় ও (ii) সমান্তরাল সজ্জায় সজ্জিত r_1 ও r_2 দুইটি রোধের বর্তনীতে একই প্রবাহ চলিলে যে শক্তি ব্যয়িত হইবে তাহাদের অনুপাত কত ? [(i) : (ii) $=(r_1+r_2)^2 : r_1r_2$]

Compare the amounts of power required to send a current of constant strength through two wires of resistances r_1 and r_2 (i) when they are arranged in series, and (ii) when they are arranged in parallel.

10. পূর্বের অনুশীলনে, প্রবাহের পরিবর্তে যদি একই বিভব-বৈষম্য ব্যবহার করা হইত তাহা হইলে ব্যয়িত শক্তির অনুপাত কত হইত ?

[$r_1\ r_2 : (r_1+r_2)^2$]

If, instead of a constant current, a constant E. M. F were used in the preceding problem, what would be the ratio betweeen the amounts of power absorbed ?

11. 500 গ্রাম জলের ভিতরে ডুবানো একটি 5 ওহ্‌ম রোধের কুণ্ডলীর

ভিতর দিয়া এক ঘণ্টা ধরিয়া 1·4 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চালানো হইল। কোন কারণেই তাপের হানি না ঘটিলে জলের তাপমাত্রা কত বাড়িবে? [16·8° সে.]

A current of 1·4 amp is passed for 1 hour through a 5 ohm coil immersed in 500 gm. of water. Assuming no loss of heat, find the rise in temperature of water.

12. 100 গ্রাম তার্পিন তৈলে ডুবানো একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়া 4 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চালিত হইল। তারের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য 1·5 ভোল্ট হইলে, 3 মিনিটে তরলের তাপমাত্রার বৃদ্ধি কত হইবে? (ক্যালরিমিটারের জলসম = 10 গ্রাম, তার্পিনের আপেক্ষিক তাপ = 0·42)। [প্রায় 4 95° সে]।

A current of 4 amperes is passed through a coil immersed in 100 gm. of turpentine. If the p. d. across the coil is 1·5 volts, find the elevation in temperature in 3 minutes. (Water equivalent of calorimeter = 10 gm. sp. heat of oil = 0·42).

13. একটি 10 ওহ্‌ম রোধের কুণ্ডলীর ভিতরে তড়িৎ-প্রবাহ চালাইয়া 1000 গ্রাম জলকে 10 মিনিটে 15° হইতে 75° সে. উত্তপ্ত করা হইল। প্রবাহের মাত্রা কত? [6·4 অ্যাম্পিয়ার]

A 10 ohm coil is used to heat 1000 gm. of water from 15° to 75°C in 10 minutes. Find the value of the current.

[Mad. 1942].

14. একটি 2 ভোল্ট তড়িচ্চালক বল ও 0 4 ওহ্‌ম অন্তঃরোধের কোষকে সমান্তরাল সজ্জায় সজ্জিত 3 ওহ্‌ম এবং 7 ওহ্‌ম রোধের দুইটি পরিবাহীর মধ্যে প্রবাহ প্রেরণের জন্য ব্যবহার করা হইতেছে। রোধ দুইটির মধ্যের প্রবাহ ও উহাদের মধ্যে উদ্ভূত তাপের অনুপাত নির্ণয় কর।

[0·56 অ্যাম্প, 0·24 অ্যাম্প ; 7 : 3]।

A cell of *e.m.f.* 2 volt and internal resistance 0·4 ohm is sending current through two conductors of 3 & 7 ohms connected in parallel. Find the current in each conductor and the ratio of heats developed. (Bom. 1941).

15. একই দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট, ও একই ধাতুতে তৈয়ারী দুইটি তারের ব্যাসের অনুপাত 1 : 2। তাহাদের শ্রেণীসজ্জায় বসাইয়া প্রবাহ চালাইলে তাপের অনুপাত কত হইবে? [4 : 1]

Two wires of same length and material, but of diameters 1 : 2, are joined in series. Find the ratio of heats developed.

(U. P. B 1944).

16. একটি বৈদ্যুতিক দীপ্তিবাতি জ্বালাইতে 60 ভোল্ট বিভব-বৈষম্য লাগে ও বাতির মধ্যে 0·75 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহিত হয়। এক ঘণ্টায় কত তাপ উদ্ভূত হইবে? [38571·4 ক্যালরি]।

An electric lamp takes a current of 0·75 amp with a p. d. of 60 volts between its terminals. Find the heat generated in an hour.

17. একটি আর্কবাতি 50 ভোল্টে জ্বলে ও ও 9 75 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ-প্রবাহ লাগে। বাতিটির কত ক্ষমতা লাগে? [487·5 ওয়াট]।

An arc lamp takes a current of 9·75 amp at 50 volts. What is the power absorbed ?

18. একটি বৈদ্যুতিক হীটারের দুইটি তার, উহাদের প্রত্যেকটির রোধ 55 ওহ্‌ম। একটি সুইচ দ্বারা তার দুইটি শ্রেণী বা সমান্তরাল সজ্জায় যুক্ত করা যায়। হীটারকে 220 ভোল্ট সরবরাহে যুক্ত করিলে, দুই অবস্থায় তাপের অনুপাত বাহির কর? [1 : 4]

An electric heater has two coils, each of resistance 55 ohms, and is provided with a switching arrangement which enables the coils to be connected either in series or in parallel. If the heater is connected to a 220 volt supply, find the ratio of heats developed in the two arrangements. (C. U. 1957).

19. একটি দীপ্তিবাতির রোধ 400 ওহ্‌ম। ইহাতে 200 ভোল্ট সরবরাহ করা হয়। বিদ্যুতের ব্যয় প্রতি কিলো ওয়াট-ঘণ্টায় 3 আনা হইলে 10 ঘণ্টায় এই বাতিতে কত খরচ লাগিবে? [3 আনা]

An electric lamp has a ressistance of 400 ohms. It is connected to supply mains of 200 volts. If the price of electric energy be 3as. per Kilowatt-hour, calculate the cost of lighting the lamp for 10 hrs. (C. U. 1951)

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

তড়িৎ-প্রবাহের রাসায়নিক ক্রিয়া

(Chemical Effects of Electric Current)

5.1. **তরলের ভিতরে তড়িতের পরিবহন (Conduction of Electricity through liquids)** : লোহা, তামা প্রভৃতি ধাতুর দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিলে উহাদের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহিত হয়। ইহার কারণ ইহারা পরিবাহী। ঠিক তেমনই, কতকগুলি তরলের প্রান্তে বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিলে উহাদের ভিতরেও তড়িতের প্রবাহ চলে, অর্থাৎ উহারাও পরিবাহী হিসাবে কাজ করে। সাধারণতঃ দেখা যায় যে জলে বিভিন্ন এসিড, ক্ষার বা অজৈব লবণ গুলিয়া জলকে পরিবাহী করা যায়, যদিও পরিশুদ্ধ জল তড়িতের অপরিবাহী। জলে সোডিয়াম ক্লোরাইড বা তুঁতে গুলিলে সেই জল পরিবাহী হয়। কিন্তু প্যারাফিন, গ্লিসারিণ প্রভৃতি জৈব তরল পরিবাহী নয়।

পারদ একটি ধাতু, এবং ইহা তরল ও সুপরিবাহী।

কিন্তু, লোহা, তামা, পারদ, প্রভৃতির তড়িৎ পরিবহনের প্রকৃতি হইতে হাইড্রোক্লোরিক এসিড দ্রবণ, সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণ, বা তুঁতে জলের দ্রবণের একটি বিশেষ পার্থক্য রহিয়াছে। তামার তারের ভিতর দিয়া তড়িৎ প্রবাহ চালাইবার পরে উহাকে পরীক্ষা করিযা দেখ, উহা তামাই রহিয়া গিয়াছে। কিন্তু, সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণকে লইয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে, উহার মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহ চলিবার পরে উহার মধ্যে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড সৃষ্টি হইয়াছে, অর্থাৎ সোডিয়াম ক্লোরাইডের রাসায়নিক পরিবর্তন হইয়াছে। এই ধরণের তরলকে বলে তড়িৎ-দ্রব বা ইলেক্‌ট্রোলাইট (Electrolyte)। পারদ তরল হইলেও উহার ভিতরে তড়িৎ প্রবাহ চলিলে উহার রাসায়নিক পরিবর্তন হয় না, অতএব ইহা পরিবাহী কিন্তু ইলেক্‌ট্রোলাইট নহে, অর্থাৎ ইহা নন্‌-ইলেক্‌ট্রোলাইট (Non-electrolyte)। কোন তরলের ভিতর তড়িৎ-প্রবাহ চালাইয়া উহার রাসায়নিক বিশ্লেষণ করিবার প্রণালীর নাম তড়িদ্‌-বিশ্লেষণ (Electrolysis)। ইংরেজ বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে

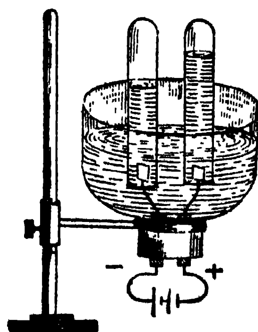
1834 খ্রীষ্টাব্দে তড়িদ্-বিশ্লেষণের বিস্তৃত পরীক্ষা করিয়া তাহার ফল প্রকাশ করেন।

5.2. কয়েকটি সংজ্ঞা (Some Definitions) :

তড়িদ্-বিশ্লেষণের পরীক্ষার জন্য দ্রবণকে একটি কাচপাত্রে নেওয়া হয়। এই কাচপাত্রকে বলে তড়িৎ-বিশ্লেষক কোষ (Electrolytic Cell) বা ভোল্টামিটার (Voltameter)। এই কোষের মধ্যে ধাতব পাত ডুবানো থাকে। সাধারণতঃ এই পাত-দুটি এমন কোন ধাতুর হয় যাহাতে তড়িৎ-দ্রবের রাসায়নিক বিশ্লেষণের ফলে উদ্ভূত বস্তু এই পাতের সহিত রাসায়নিক ক্রিয়া না করে। অবশ্য কখন কখন বিশেষ উদ্দেশ্যে বিশেষ বিশেষ পরিবাহী পাত ব্যবহার করা হয়। এই পাত দুটিকে তড়িৎ-দ্বার (Electrode) বলা হয়। তড়িৎ দ্বার দুইটির সাহায্যে ভোল্টামিটারকে একটি ব্যাটারী বা তড়িৎ-কোষের সহিত যুক্ত করিলে তড়িৎ-দ্রবের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। ভোল্টামিটারের দ্বার দুটির যেটি কোষের ধনাত্মক তড়িৎ দ্বারের সহিত যুক্ত হয় তাহাকে ভোল্টামিটারের অ্যানোড বা ধনাত্মক দ্বার বলে। ভোল্টা-মিটারের অন্য দ্বারটির নাম ক্যাথোড বা ঋণাত্মক দ্বার। তড়িৎ অ্যানোড দিয়া ভোল্টামিটারে প্রবেশ করে ও ক্যাথোড দিয়া বাহির হইয়া যায়।

5.3. তড়িদ্-বিশ্লেষণের পরীক্ষা (Experiment to demonstrate Electrolysis)

পরীক্ষা : একটি দুই মুখ খোলা চওড়া বোতলের আকৃতি বিশিষ্ট কাচ পাত্রের নীচের সংকীর্ণ মুখ একটি ছিপি দিয়া বন্ধ কর। এই ছিপির ভিতর দিয়া দুইটি তার পাত্রের মধ্যে গিয়াছে ও প্রতিটির সংগে একটি করিয়া প্ল্যাটিনামের পাত যুক্ত করা হইয়াছে। তার দুইটির নীচের প্রান্ত তড়িৎ-কোষের সহিত চাবীর দ্বারা সংযুক্ত। কাচ পাত্রে পরিশুদ্ধ জল লইয়া উহার মধ্যে কয়েক ফোঁটা সালফিউরিক এসিড ঢালিয়া দেওয়া হইল। তাহা হইলে এই কাচ পাত্রটি একটি ভোল্টামিটার হইল। দুইটি কাচের টেষ্টটিউবে



5·1

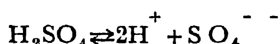
জল ভরিয়া উহাদের সাবধানে ভোল্টামিটারের তড়িৎ-দ্বার দুটির উপরে উল্টাইয়া দেওয়া হইল।

এখন তড়িৎ-প্রবাহ চালাইলে দেখা যাইবে যে ভোল্টামিটারের তড়িৎ-দ্বার দুইটিতে বুদ্‌বুদ্‌ করিয়া গ্যাস্‌ বাহির হইতেছে ও টেষ্ট টিউবে জমিতেছে।

পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে অ্যানোডে অক্সিজেন ও ক্যাথোডে হাইড্রোজেন গ্যাস উদ্ভূত হইয়াছে। উদ্ভূত অক্সিজেন গ্যাসের আয়তন হাইড্রোজেনের অর্ধেক।

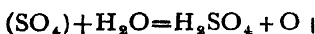
কার্যনীতি ঃ

জলে দ্রবীভূত সালফিউরিক এসিড আয়ণিত হয়।



$$H_2SO_4 \rightleftharpoons 2\overset{+}{H} + S\overset{--}{O_4}$$

হাইড্রোজেন আয়ণ ভোল্টামিটারের ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বার অর্থাৎ ক্যাথোডের প্রতি আকৃষ্ট হয় ও উহাকে আধান দিয়া গ্যাসে পরিণত হয়। সালফেট আয়ণ অ্যানোডে গিয়া আধান দেয় ও নিজে জলের সহিত ক্রিয়া করে।



$$(SO_4)+H_2O=H_2SO_4+O\,।$$

ফলে সালফিউরিক এসিডের পরিমাণ স্থির থাকিয়া যায় ও জল বিশ্লিষ্ট হইতে থাকে।

হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন যাহাতে রাসায়নিক ক্রিয়া না করিতে পারে সেজন্য প্ল্যাটিনাম পাতের তড়িদ্‌-দ্বার লওয়া হয়।

জলকে বিশ্লিষ্ট করা হয় বলিয়া এই ভোল্টামিটারকে জল ভোল্টামিটার (Water Voltameter) বলা হয়। এই উপায়ে অতিশয় বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন গ্যাস পাওয়া যায়।

5.4. আধানের পরিমাণ ও বিশ্লেষণের সম্বন্ধ ঃ ফ্যারাডের তড়িদ্‌-বিশ্লেষণের সূত্র (Relation between charge & electrolysis : Faraday's Laws of Electrolysis) :

উপরের পরীক্ষায় যদি প্রবাহ, সময় ও উদ্ভূত গ্যাসের পরিমাণ মাপা যায়, তবে উহাদের মধ্যে কতকগুলি বিশেষ সম্বন্ধ পাওয়া যায়।

যদি ভোল্টামিটারের মধ্যে 1 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ 1 সেকেণ্ডের জন্য চলে, তবে বলা হয় যে ভোল্টামিটারে 1 কুল* আধান প্রবাহিত হইয়াছে। তাহা হইলে মাপিয়া দেখা যাইত যে উদ্ভূত হাইড্রোজেনের পরিমাণ 0·0000104

গ্রাম হইত, এবং অক্সিজেনের পরিমাণ হইত 0·0000829 গ্রাম। আধানের পরিমাণ বাড়াইলে গ্যাসের পরিমাণ বাড়িত। আধানের পরিমাণ যদি 96498 কুলঁ হইত, তবে দেখা যাইত 1 গ্রাম হাইড্রোজেন ও 8 গ্রাম অক্সিজেন পাওয়া গিয়াছে। অর্থাৎ, 96498 কুলঁ আধান কোন তড়িৎ-দ্রবের মধ্যে গেলে 1 গ্রাম-তুল্য (Gram equivalent) পরিমাণ মৌল পাওযা যায়। এই পরিমাণ আধানের নাম দেওয়া হইযাছে 1 ফ্যারাডে (Faraday)। 1 কুলঁ আধানেব সাহায্যে যতটা মৌল বিশ্লিষ্ট হয় তাহাকে মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক (Electro-chemical Equivalent) বা E. C. E, বলে। হাইড্রোজেনের E.C.E. = 0 0000104, অক্সিজেনের 0 0000829। অর্থাৎ ইহাদের তডিৎ-রাসায়নিক তুল্যাংকের অনুপাত ইহাদের রাসায়নিক তুল্যাংকের অনুপাতের (1 : 8) সমান।

ফ্যারাডে তাঁহার পরীক্ষার ফল কযেকটি সূত্রে আবদ্ধ করেন। এই সূত্রগুলিকে ফ্যারাডের তড়িদ্-বিশ্লেষণের সূত্র (Faraday's Laws of Electrolysis) বলে।

ফ্যারাডের বিশ্লেষণের সূত্র ঃ

(i) তড়িৎ-দ্রবে তড়িৎ প্রবাহিত করিলে সঞ্চিত আয়ণের পরিমাণ মোট আধানের সমানুপাতিক। অর্থাৎ প্রবাহের পরিমাণ c প্রবাহের সময় t, এবং সঞ্চিত আযণের পরিমাণ w হইলে,

$$w \propto ct,$$

কিংবা, $w = z.ct$ ।

(ii) বিভিন্ন তড়িৎ-দ্বারে সঞ্চিত আয়ণেব পরিমাণ তাহাদের রাসায়নিক তুল্যাংকের সমানুপাতী। অর্থাৎ দুই প্রকার আয়ণের পরিমাণ w_1 ও w_2, এবং উহাদের রাসাযনিক তুল্যাংক k_1 ও k_2 হইলে,

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{k_1}{k_2} ।$$

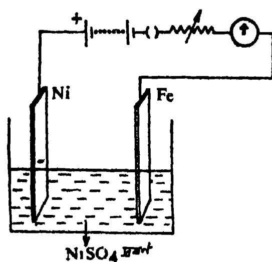
(i) নং সূত্র হইতে দেখ,

$$z = \frac{w}{ct} ।$$ অর্থাৎ, $c.t = 1$ হইলে $z = w$ ।

অর্থাৎ, একক আধান প্রবাহিত হইলে z পরিমাণ আযণ সঞ্চিত হয়। এই z-কে পদার্থটির তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক বলে।

5.5. তড়িদ্-বিশ্লেষণের প্রয়োগ (Application of Electrolysis) :

(i) তড়িৎ-লেপন (Electroplating) : বিভিন্ন ধাতুকে ক্ষয় হইতে রক্ষা করিবার জন্য উহাদের উপরে অনেক সময় অন্য ক্ষয়-নিরোধক ধাতুর প্রলেপ দেওয়ার প্রয়োজন হয়। কেরোসিনের টিনে লোহার উপরে টিনের প্রলেপ দেওয়া থাকে।

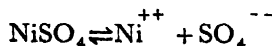


5·2
লোহায় নিকেল লেপন করা

অনেক সময় তড়িদ্-বিশ্লেষণের নীতিকে তড়িৎ-লেপনের কাজে ব্যবহার করা হয়। 5·2 নং চিত্রে লোহার পাতে নিকেলের প্রলেপ দেওয়ার প্রণালী দেখিতে পাইবে।

লোহার পাতকে প্রথমে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের লঘু দ্রবণে ডুবাইয়া উহার উপরের তৈল ইত্যাদি দূর করা হয়। পরে উহাকে হাইড্রোক্লোরিক এসিডের পাতলা দ্রবণে ধুইয়া ক্ষার দূর করা হয়। এখন উহাকে জলে ধুইয়া এসিড দূর করিয়া একটি ভোল্টামিটারে ডুবানো হয়। এই ভোল্টামিটারে নিকেল সালফেটের জলীয় দ্রবণ তড়িৎ-দ্রব হিসাবে ব্যবহৃত হয়। লোহার পাতটি ইহার **ক্যাথোড** হিসাবে ব্যবহৃত হয়। এই ভোল্টামিটারের অন্য তড়িৎ-দ্বার অর্থাৎ অ্যানোড হিসাবে একটি নিকেলের পাত ব্যবহার করা হয়। এই নিকেলের পাতের খুব শুদ্ধ হইবার প্রয়োজন হয় না।

প্রবাহ চালাইলে নিকেল অ্যানোড দ্রবীভূত হয় ও লোহার পাতের উপরে নিকেলের প্রলেপ পড়ে।

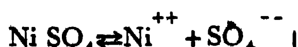


$$NiSO_4 \rightleftharpoons Ni^{++} + SO_4^{--}$$

Ni^{++} আয়ন ক্যাথোড লোহার পাতে গিয়া আধান ত্যাগ করে ও নিজে উহার উপরে জমে।

SO_4^{--} আয়ন অ্যানোড পাতে গিয়া ক্রিয়া করে ও নিকেল দ্রবীভূত হইয়া পুনরায় $NiSO_4$ হইয়া যায়।

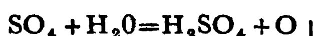
* যদি ভোল্টামিটারে দুইটি প্ল্যাটিনাম তড়িৎ-দ্বার ব্যবহার করা হইত তবে ক্রিয়া অন্য রকম হইত।



$$Ni\ SO_4 \rightleftharpoons Ni^{++} + SO_4^{--}\text{।}$$

Ni প্ল্যাটিনাম ক্যাথোডে জমিত বটে, কিন্তু SO_4 আয়ন প্ল্যাটিনামকে

আধান দিয়া জলের সহিত ক্রিয়া করিত, কারণ উহা প্ল্যাটিনামের সহিত ক্রিয়া করিতে পারে না। ফলে ক্রিয়া হইত নিম্নরূপ—



$$SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + O$$ ।

অর্থাৎ অ্যানোডে অক্সিজেন উদ্ভূত হইত।)

সোনার প্রলেপ দিবার জন্য $AuCl_3$, এবং KCN ও জলের তড়িৎ-দ্রব ব্যবহার করা হয়।

গ্রামোফোন রেকর্ড তৈয়ারী করিবার সময়ে তড়িৎ-প্রলেপের সহায়তা নেওয়া হয়।

প্রথমে মোমের রেকর্ডের উপরে পিনের সাহায্যে গানের কম্পনের প্রতিলিপি তোলা হয়। এখন এই মোমের রেকর্ডের উপরে তামার প্রলেপ দেওয়া হয়। পিনের দাগগুলির উপরে বেশী তামা জমে, ফলে এই গম্ভীর দাগগুলি উঁচু হইয়া যায়। এইবার প্লাস্টিকের উপরে রেকর্ডের ছাঁচ তুলিয়া বিক্রয় করা হয়।

(ii) অনেক ধাতু, যেমন সোনা, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি উহাদের আকরিকের তড়িদ্ বিশ্লেষণের সাহায্যে পাওয়া যায়। বিশুদ্ধ ধাতু পাইবার জন্য তড়িদ্-বিশ্লেষণ শ্রেষ্ঠ উপায়।

(iii) অনেক ধাতব লবণও এই উপায়ে প্রস্তুত করা যায়।

5.6. **অনুশীলন ঃ**

(*a*) যদি 3 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ একটি রূপার ভোল্টামিটারে 20 মিনিটে 4 গ্রাম রূপা বিশ্লিষ্ট করে, তবে রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক কত ?

রূপার পরিমাণ W, প্রবাহ c, সময় t ও তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক z হইলে, $W = zct$ ।

W=4 গ্রাম, c = 3 অ্যাম্পিয়ার, t = 20 × 60 সে. ;

$$Z = \frac{W}{ct} = \frac{4}{3 \times 20 \times 60} = 0{\cdot}0011$$ গ্রাম/কুলঁ ।

(*b*) 0·1 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ 1 ঘণ্টায় কতটা রূপা বিশ্লিষ্ট করিবে ? (রূপার E.C.E.=0·001118 গ্রাম/কুলঁ) ।

$$W = Zct.$$

$$= {\cdot}001118 \times {\cdot}1 \times 60 \times 60$$

$$= 0{\cdot}40248$$ গ্রাম।

(*c*) অ্যাসিড-যুক্ত জল ও লেড অ্যাসিটেট (Lead Acetate) বিশিষ্ট দুইটি কোষ শ্রেণী সজ্জায় সজ্জিত। উহাদের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত করিলে যে সময়ে 0·05 গ্রাম হাইড্রোজেন উদ্ভূত হয় সেই সময়ে কত সীসা জমিবে? (সীসার রাসায়নিক তুল্যাংক = 103·5).।

$$\frac{\text{উদ্ভূত সীসার পরিমাণ}}{\text{উদ্ভূত হাইড্রোজেনের পরিমাণ}} = \frac{\text{সীসার রাসায়নিক তুল্যাংক}}{\text{হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাংক}} = \frac{103 \cdot 5}{1}$$

∴ উদ্ভূত সীসার পরিমাণ $= \cdot 05 \times 103 \cdot 5 = 5 \cdot 175$ গ্রাম।

(*d*) একটি তামার ভোল্টামিটারকে একটি ব্যাটারী ও একটি 2 ওহ্‌ম রোধের সহিত শ্রেণীসজ্জায় বসানো হইল। 30 মিনিট প্রবাহ চলিলে ভোল্টামিটারের ক্যাথোডের 1·476 গ্রাম ওজন বৃদ্ধি হয়। 2 ওহ্‌ম রোধের দুই-প্রান্তের গড় বিভব-বৈষম্য 5 ভোল্ট হইলে তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক কত? (C. U. 1949).

$W = Zct$ সূত্রে W ও t দেওয়া আছে। Z বাহির করিতে হইলে c-এর মান জানিতে হইবে।

আবার, 2 ওহ্‌ম রোধের দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য = 5 ভোল্ট।

∴ $c = \frac{V}{R}$ সূত্র হইতে,

$c = \frac{5}{2}$ অ্যাম্পিয়ার।

$$\therefore \quad Z = \frac{W}{ct} = \frac{1 \cdot 476}{\frac{5}{2} \times 30 \times 60} = 0 \cdot 000328 \text{ গ্রাম/কুলম্ব।}$$

(*e*) শ্রেণী-সজ্জায় সজ্জিত তিনটি ভোল্টামিটারের ভিতর দিয়া 5 ঘণ্টা ধরিয়া 5 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চালিত হইল। ভোল্টামিটার তিনটিতে যথাক্রমে কপার সালফেট, সিলভার নাইট্রেট ও সালফিউরিক এসিড আছে। উদ্ভূত তামা, রূপা ও হাইড্রোজেনের পরিমাণ বাহির কর। (রূপার E. C. E. = 0·001118 গ্রাম/কুলম্ব, রূপা, তামা ও হাইড্রোজেনের পারমাণবিক ভর যথাক্রমে 107·88, 63·57, 1·008)।

5 ঘণ্টায় প্রবাহিত মোট আধানের পরিমাণ

$$= 5 \times 5 \times 60 \times 60 = 90000 \text{ কুলম্ব।}$$

বিশ্লিষ্ট রূপার পরিমাণ $= 90000 \times \cdot001118 = 100\cdot62$ গ্রাম।

রূপার রাসায়নিক তুল্যাংক $= \frac{107\cdot88}{1} = 107\cdot88$ ।

তামার রাসায়নিক তুল্যাংক $= \frac{63\cdot57}{2} = 31\cdot785$ ।

হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাংক $= 1\cdot008$ ।

$\therefore$ রূপার পরিমাণ : তামার পরিমাণ : হাইড্রোজেনের পরিমাণ = রূপার রাসায়নিক তুল্যাংক : তামার রাসায়নিক তুল্যাংক : হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাংক।

$$\therefore \quad 100\cdot62 : w_{Cu} : w_H = 107\cdot88 : 31\cdot785 : 1\cdot008 ।$$

$$\therefore \quad w_{Cu} = \frac{100\cdot62 \times 31\cdot785}{107\cdot88} = 29\cdot70 \text{ গ্রাম।}$$

$$w_H = \frac{100\cdot62 \times 1\cdot008}{107\cdot88} = 0\cdot94 \text{ গ্রাম।}$$

(*f*) কত তড়িৎ-প্রবাহ এক ঘণ্টায় 740 মিমি. চাপ ও 17° সে. তাপমাত্রায় 500 সিসি. হাইড্রোজেন বিশ্লিষ্ট করিবে ? (N. T. P.-তে 1 লিটার হাইড্রোজেনের ওজন $= 0\cdot09$ গ্রাম, হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক $= 0\cdot00001038$ গ্রাম/কুলঁ ।

W = Zct সংকেত হইতে c-এর মান পাওয়া যাইবে। তবে প্রথমে W-এর পরিমাণ বাহির করিতে হইবে।

এখন, $\frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1}$ সূত্র হইতে,

$$\frac{760 \times V}{273} = \frac{740 \times 500}{(273+17)}$$

$$\therefore \quad \text{N. T. P.-তে} \quad V = \frac{740 \times 500 \times 273}{760 \times 290} \text{ সিসি.}$$

$$\therefore \quad W = \frac{740 \times 500 \times 273}{760 \times 290} \times \frac{\cdot09}{1000} \text{ গ্রাম।}$$

$$= 0\cdot041 \text{ গ্রাম।}$$

$\therefore$ W = Zct সংকেত হইবে।

$$c = \frac{W}{Zt}$$

$$= \frac{\cdot 041}{\cdot 00001038 \times 60 \times 60} = 1\cdot 09 \text{ অ্যাম্পিয়ার।}$$

(*g*) শ্রেণী-সজ্জায় সংযুক্ত একটি ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটার ও একটি রৌপ্য ভোল্টামিটার দিয়া 20 মিনিট ধরিয়া নির্দিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ চালানো হইল। বিশ্লিষ্ট রূপার পরিমাণ 0·5 গ্রাম হইলে, ও গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ 30° হইলে, গ্যালভানোমিটারের তুল্যাংক কত? (রূপার E. C. E. = 0·00112 গ্রাম/কুলম্ব)।

$c = 10K\tan\theta$ সংকেত হইতে K-এর মান বাহির হইবে।

প্রথমে c-এর মান বাহির করিতে হইবে।

$W = Zct$

$$\therefore \quad C = \frac{W}{Zt} = \frac{0\cdot 5}{\cdot 00112 \times 20 \times 30} = 0\cdot 37_2 \text{ অ্যাম্পিয়ার।}$$

$$\therefore \quad K = \frac{c}{10\tan\theta} = \frac{\cdot 37_2}{10 \times \frac{1}{\sqrt{3}}}\text{।}$$

$$= 0\cdot 064 \text{ C. G. S. একক।}$$

প্রশ্নমালা

1. তড়িৎ-বিশ্লেষণের সূত্রগুলি বর্ণনা কর।

ভোল্টামিটার কাহাকে বলে? উহার কাজ বর্ণনা কর।

State the laws of Electrolysis. (C. U. 1937, 42, 44, 49, 50, 55 ; Al. 1945 ; Dac. 1927 ; Bom. 1941 ; Mad. 1928).

What is a voltameter ? Explain its principle. (C. U. 1926, cf. C. U. 1948).

2. তড়িতের রাসায়নিক ক্রিয়া পরীক্ষা করিবার কোন উপায় বর্ণনা কর।

Describe some experiment to demonstrate the chemical effect of current. (C. U. 1954).

3. তড়িৎ-দ্রব, তড়িৎ-দ্বার, ক্যাথোড, অ্যানোড ও আয়ণ বলিতে কি বুঝায় ?

Explain the terms : electrolytes electrodes, cathode, anode and ions. (C. U. 1924, '28)

4. তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক কাহাকে বলে ? ইহার সহিত রাসায়নিক তুল্যাংকের সম্বন্ধ কি ?

What is "Electro-chemical Equivalent" of an element ?
(C. U. 1949 ; Pat. 1938, '42 ; Bom. 1930)

How is it connected with the chemical equivalent of the substance ?

5. "তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক = 0·0003297" বলিতে কি বুঝায় ?

একটি তামার ভোল্টামিটারকে একটি ব্যাটারির সহিত যুক্ত করা হইল। 30 মিনিট ধরিয়া 2·5 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চালাইবার পর ক্যাথোডের ওজন বৃদ্ধি হইল 1·476 গ্রাম। তামার E. C. E. কত ? [0·000328 গ্রাম/কুলঁ]।

What do you mean by the statement, "E. C. E. of copper is 0·003297 ?"

A copper voltameter is connected in series with a battery and current of 2·5 amp. is allowed to flow for 30 minutes. The cathode was found to gain 1·476 gm. by weight. Find the E. C. E of Copper. (cf. C. U. 1949)

6. সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ-বিশিষ্ট তড়িৎ-কোষের ভিতর দিয়া কত প্রবাহ এক ঘণ্টা চালাইলে ক্যাথোডে 0·805 গ্রাম রূপা জমিবে ? রূপার E. C. E. = 0·001118 গ্রাম/কুলঁ। [0·2 অ্যাম্পিয়ার]

Calculate the strength of current that is to be sent for an hour through an electrolytic cell containing Silver Nitrate solution for depositing 0·805 gm. of Silver at the cathode. E. C. E. of Silver 0·001118 gm/Coulomb. (C. U. 1948)

7. কত প্রবাহ 1 ঘণ্টায় 1·2 গ্রাম রূপা সঞ্চিত করিবে ? (রূপার E. C. E. = 0·001118 গ্রাম/কুলঁ)। [0·298 অ্যা.]

Calculate the strength of the current which will deposit 1·2 gm. of Silver in 1 hour. (E. C. E. of Silver—0·001118 gm/Cou). (U. P. B. 1936).

8. কপার সালফেট দ্রবণের ভিতরে 1 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ 33 মিনিট চলিয়া 0·65 গ্রাম তামা সঞ্চিত করে। হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক নির্ণয় কর। তামার আণবিক ভার = 63, যোজ্যতা = 2)।

[0·00001042 গ্রাম/কুলম্ব]।

Calculate the E. C. E. of hydrogen, given that 1 amp. deposits 0·65 gm. of Copper from a solution of Copper Sulphate in 33 minutes. (At wt. of Copper = 63, Valency = 2). (Pat. 1928)

[সংকেত : তামার রাসায়নিক তুল্যাংক = $\frac{63}{2}$।

$$\frac{\text{হাইড্রোজেনের E. C. E.}}{\text{তামার E. C. E.}} = \frac{\text{হাইড্রোজেনের C.E.}}{\text{তামার C. E.}}$$

প্রশ্ন হইতে তামার E. C. E. পাওয়া যাইবে।]

9. কোন পরীক্ষায় 45 মিনিটে 1·372 গ্রাম রূপা সঞ্চিত হইল। ভোল্টামিটারের সহিত শ্রেণীবদ্ধ ট্যানজেণ্ট গ্যালভ্যানোমিটারের বিক্ষেপ ছিল 30°। তড়িৎ-বর্তনীর একটি সরল চিত্র আঁক এবং গ্যালভ্যানোমিটারের লঘু গুণক বাহির কর। রূপার E. C. E = 0·00112 গ্রাম/কুলম্ব।

[0·261 অ্যাম্পিয়ার]

In an experiment the weight of silver deposited was 1·372 gm. in 45 minutes. The deflection of the tangent galvanometer connected in series was 30°. Draw a diagram showing the necessary connections and find the reduction factor of the galvanometer. E. C. E. of Silver = 0·000112 gm/Coul.

(C. U. 1941)

10. একটি তামা ভোল্টামিটারের সহিত ট্যানজেণ্ট গ্যালভ্যানোমিটার যুক্ত করিয়া প্রবাহ চালানো হইল। গ্যালভানোমিটারে গড় 15 সেমি. ব্যাসার্ধের 45টি পাক আছে। গড় বিক্ষেপ 40° হইলে 15 মিনিটে কত তামা সঞ্চিত হইবে? H = 0·18 এবং 1 কুলম্ব আধান = 0 00033 গ্রাম তামা সঞ্চিত করে। tan 40° = 0·8391। [0·023 গ্রাম]।

A tangent galvanometer is connected with a copper voltameter and a current is passed. The galvanometer coil consists

of 45 turns of mean radius 15 cm. and mean deflection observed is 40°. Find the mass of copper deposited in 15 minutes, if H=0·18 and 1 Coulomb deposits 0·00033 gm. of copper. tan 40° = 0·8391. (C. U. 1935)

11. একটি রূপা ভোল্টামিটারে 30 মিনিট প্রবাহ চালাইবার ফলে 2·312 গ্রাম রূপা জমা হইল। ভোল্টামিটারের সহিত শ্রেণী সজ্জায় সংযুক্ত একটি ট্যান্‌জেণ্ট গ্যালভানোমিটারে 45 বিক্ষেপ হইয়াছিল। গ্যালভানোমিটারে 40 সেমি. ব্যাসের দশ পাক তার থাকিলে রূপার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক কত? (H=0·36)। [0·00112 গ্রাম/কুলঁ

A current is passed for 30 minutes through a silver voltameter connected in series with a tangent galvanometer of ten turns and diameter 40 cm. The deflection of the galvanometer is 45° and 2·312 gm. of silver are deposited. What is the E.C.E. of silver? (H = 0·36). (Pat. 1924)

12. লঘু H_2SO_4 দ্রবণের ভিতর দিয়া 6 মিনিট 26 সেকেণ্ড ধরিয়া 10 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চালাইলে যে হাইড্রোজেন উদ্ভূত হইবে N.T.P.-তে তাহার আয়তন কত? 1F=96550 কুলঁ। [0·4477 লিটার]।

Calculate at N.T.P. the volume of H_2 which will be liberated when a current of 10 amp. is passed through dilute H_2SO_4 sol. for 6 minutes and 26 seconds., given 1F = 96550 Coulomb.

13. $AgNO_3$ দ্রবণ, $CuSO_4$ দ্রবণ ও H_2SO_4 যুক্ত জলের ভিতর দিয়া একই তড়িৎ গেলে, যে সময়ে 27° সে. ও 750 মিমি.-এ 124·7 সিসি. হাইড্রোজেন উদ্ভূত হয় সেই সময়ে কত রূপা ও তামা সঞ্চিত হইবে?

[Ag = 1·081836 গ্রাম, Cu = 0·317205 গ্রাম]

A current of electricity is passed simultaneously through $AgNO_3$ solution, $CuSO_4$ solution, and water acidulated by H_2SO_4. Find the amounts of silver and copper that are deposited by the time 124·7 cc. of H_2 are liberated at 27°C. & 750 mm.

14. $CuSO_4$ দ্রবণ, $AgNO_3$ দ্রবণ ও লঘু H_2SO_4 দ্রবণের ভিতর দিয়া একই প্রবাহ একই সময়ের জন্য চলিলে যে হাইড্রোজেন উদ্ভূত হইল

তাহার আয়তন 27° সে. ও 750 মিমি. অবস্থায় 37·4 সিসি, এবং যে রূপা ও সঞ্চিত হইল তাহাদের ভর যথাক্রমে 0·3267 গ্রাম ও 0·0954 গ্রাম। রূপা ও তামার রাসায়নিক তুল্যাংক কত? [রূপা: 108·03 ; তামা : 31·54]

The same current was passed for the same interval of time through solutions of $CuSO_4$, $AgNO_4$ and H_2SO_4 in water. If the volume of hydrogen liberated be 37·4 cc at 750 mm. and 27°C, and the amounts of silver and copper deposited on the respective cathodes be 0·3267 gm. and 0·0954 gm. Calculate the equivalent weights of silver & copper.

15. একটি 20 কিলোগ্রাম ধাতু-খণ্ডের উপরে তাহার ওজনের 0·025% পরিমাণ সোনা লেপন করিতে হইবে। 1 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চলিলে, কত সময়ে ঐ সোনা লেপন সম্ভব হইবে? [সোনার E.C.E.=0·0006808 গ্রাম/কুলঁ] [2ঘ. 2মি. 24·3সে.]

A piece of metal weighing 20 Kgm. is to be electroplated with 0·025% of its weight in gold. If the current be 1 amp. E.C.E. of gold=0·0006808 gm/conomb, how long will it take to deposit the required amount of gold ?

16. 300 ব. সেমি. পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি ধাতুর পাতকে নিকেল দ্বারা লেপন করিতে হইবে। 3 ঘণ্টা ধরিয়া 1·5 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ চলিলে যে নিকেল জমিবে তাহা কত পুরু হইবে? (নিকেলের ঘনত্ব = 8·8/সিসি. ; নিকেলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক = 0·000304 গ্রাম/কুলঁ)।

[$18·65 \times 10^{-4}$ সেমি.]।

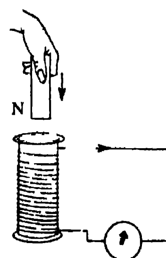
A metal plate, having a total surface area of 300 sq. cm. is to be nickel-plated. If a current of 1·5 amp. is used for 3 hours, find the thickness of nickel deposited on the plate. [Density of nickel = 8·8 gm/cc, E.C.E = 0·000304 gm/Coulomb.].

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ

(Electro-magnetic Induction)

6.1. **পরীক্ষা :** চোঙের মত একটি কাঠের ফ্রেমের উপরে 30-40 পাক তামার অন্তরিত তার জড়াইয়া লও। চোঙটিকে খাড়া করিয়া বসাইয়া তারের দুইপ্রান্ত একটি গ্যালভানোমিটারের সহিত সংযুক্ত কর। এখন তারে কোন তড়িৎ-প্রবাহ থাকিতে পারে না, অতএব গ্যালভানো-মিটারের কাঁটার কোন বিক্ষেপ হইবে না।



6·1

এখন একটি শক্তিশালী চুম্বক খাড়া ধরিয়া উহার এক মেরু কুণ্ডলীর মধ্যে ঢুকাও, দেখিবে গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ হইবে। অতএব এখন নিশ্চয় কুণ্ডলীর মধ্যে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হইল।

মেরুটি কুণ্ডলীর মধ্যে কিছুটা ঢুকিলে উহাকে সেই অবস্থায় স্থির রাখ ; দেখিবে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ আর রহিল না, অর্থাৎ প্রবাহ বন্ধ হইয়া গেল। মেরুটিকে কুণ্ডলী হইতে বাহির করিয়া আন, দেখিবে আবার গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ হইল, কিন্তু এবার বিপরীত দিকে, অর্থাৎ মেরুকে ঢুকাইবার সময়ে যদি বিক্ষেপ ডানদিকে হইয়া থাকে, এবার বামদিকে হইল। অতএব আগের বার প্রবাহের অভিমুখ যেদিকে ছিল, এবার তার বিপরীত দিকে হইল। মেরুটি কুণ্ডলীর বাহিরে আনিয়া সামান্য দূরে স্থির রাখ, আবার বিক্ষেপ শূন্য হইয়া যাইবে, অর্থাৎ প্রবাহ বন্ধ হইবে। পরীক্ষার ফলকে আপাততঃ আমরা এইভাবে লিখিতে পারি।

(*i*) যখন মেরুটি কুণ্ডলীর মধ্যে ঢুকিতেছে বা উহা হইতে বাহির হইয়া যাইতেছে, তখন কুণ্ডলীতে প্রবাহের সৃষ্টি হইতেছে।

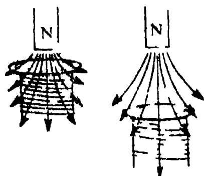
(*ii*) যখন মেরুটি স্থির আছে তখন প্রবাহ থাকিতেছে না।

চুম্বককে স্থির রাখিয়া আমরা যদি কুণ্ডলীকে উহার কাছে লইয়া যাই বা উহা হইতে দূরে লইয়া যাই, তাহা হইলেও একই ফল পাইব।

6.2. **তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ (Electro-magnetic Induction) :** উপরের পরীক্ষায় যে দুইটি ফল পাওয়া গেল, তাহাদের ব্যাখ্যা করিয়া দেখা যাক্।

কুণ্ডলীতে যে প্রবাহের সৃষ্টি হইতেছে, তাহা কোন কোষের সাহায্যে নহে। যে চুম্বকটি ব্যবহার করা হইতেছে, তাহার সহিত এই প্রবাহের সম্বন্ধ আছে। চুম্বকটি প্রত্যক্ষভাবে কুণ্ডলীর সহিত যুক্ত না হইয়াও উহাতে প্রবাহের সৃষ্টি করিতেছে, অতএব ইহাকে তড়িৎ-প্রবাহের আবেশ বলা যায়। সুতরাং এই ফলকে আমরা যদি তডিৎ-চুম্বকীয় আবেশ বলি তবে নামের মধ্যে এই প্রকার প্রবাহ সৃষ্টির কাবণ পাওয়া যাইবে।

চুম্বকটির চারিপাশে বলরেখা (Lines of Force) আছে (চিত্র নং 6·2)। তাহার মধ্যে কতকগুলি রেখা কুণ্ডলীর প্রস্থচ্ছেদের ভিতর দিয়া যাইতেছে। চুম্বকটি কুণ্ডলীর কাছে আনিলে যে বলরেখাগুলি কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া যাইতেছে তাহাদের সংখ্যা বাড়িয়া যাইবে (চিত্র নং·· 6·2 দেখ), আর দূরে লইয়া গেলে তাহাদেব সংখ্যা কমিবে। চুম্বকটি স্থির থাকিলে বলরেখার কোন পরিবর্তন হইবে না।



6 2

তাহা হইলে আগের পরীক্ষাটির ফলকে আমরা এইভাবে ব্যাখ্যা করিতে পারি—যখন কোন বদ্ধ কুণ্ডলীর মধ্যে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তন হয, তখন ঐ বদ্ধ কুণ্ডলীর মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। যতক্ষণ পর্যন্ত বলরেখার পরিবর্তন চলে, প্রবাহও ততক্ষণই চলে। পরিবর্তন বন্ধ হইয়া গেলে প্রবাহও বন্ধ হয।

এই পদ্ধতিকে তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ বলে।

6.3. **পরীক্ষা :** আগের পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি কর। তবে, একবার চুম্বকটি খুব তাড়াতাড়ি ঢুকাও ও বাহির কর, আর একবার ধীরে ধীরে ঢুকাও ও বাহির কর।

যখন চুম্বকটিকে তাড়াতাড়ি সরানো হইল, তখন দেখিবে গ্যালভানো-মিটারের কাঁটার বিক্ষেপ বেশী হইতেছে, অর্থাৎ প্রবাহের পরিমাণ বেশী হইতেছে। চুম্বকটি ধীরে ধীরে সরাইলে প্রবাহ কম হইবে।

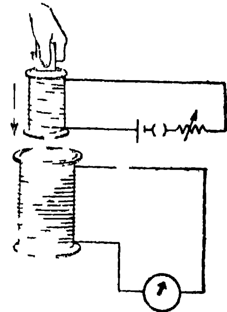
অর্থাৎ, কুণ্ডলীর মধ্যে আবিষ্ট প্রবাহের পরিমাণ সংশ্লিষ্ট বলরেখার পরিবর্তনের হারের উপর নির্ভর করে। পরিবর্তনের হার বেশী হইলে আবিষ্ট

প্রবাহের পরিমাণ বেশী হয়, আর পরিবর্তনের হার কম হইলে প্রবাহের পরিমাণ কমে।

6.4. তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তনের জন্য হয়। এই বলরেখাকে আমরা নানাভাবে সৃষ্টি করিতে পারি।

পরীক্ষা : উপরের পরীক্ষায় কুণ্ডলীর ন্যায় আর একটি ছোট কুণ্ডলী তৈয়ারী কর, যেন এই কুণ্ডলীটি বড় কুণ্ডলীর মধ্যে ঢুকিয়া যায়।

এই কুণ্ডলীর তারের দুই প্রান্ত একটি তড়িৎ-কোষ, চাবি ও পরিবর্তনীয় রোধের সহিত যুক্ত কর, যেন ইহার মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত করা যায়।


6·3

আমরা এই কুণ্ডলীকে মুখ্য কুণ্ডলী (Primary Coil) ও বড় কুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলী (Secondary Coil) বলিব (চিত্র নং 6·3)।

মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহিত কর ; এখন উহাকে গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে ঢুকাও। দেখিবে গৌণ কুণ্ডলীর সংযুক্ত গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ হইল অর্থাৎ গৌণকুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহের সৃষ্টি হইল।

মুখ্য কুণ্ডলীর মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহ হইবার ফলে উহার চারিপাশে চৌম্বক বলরেখার সৃষ্টি হয়। এই বলরেখার মধ্যে যেগুলি গৌণ কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট হয় তাহাদের সংখ্যার পরিবর্তনের জন্যই গৌণ কুণ্ডলীতে প্রবাহের আবেশ হয়।

মুখ্য কুণ্ডলীকে যদি গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে তাড়াতাড়ি ঢুকানো যায় বা উহা হইতে তাড়াতাড়ি বাহির করা যায়, তবে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের পরিমাণ বাড়িয়া যাইবে। অর্থাৎ আবিষ্ট প্রবাহের পরিমাণ সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তনের হারের উপর নির্ভর করে।

6.5. **আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ (Direction of induced current) :**

উপরে পরীক্ষাগুলিতে যদি গৌণকুণ্ডলীর মধ্যে প্রবাহের অভিমুখ লক্ষ্য করা যায় তবে দেখা যাইবে যে যখন উত্তর মেরু গৌণকুণ্ডলীর মধ্যে ঢুকিতেছে, তখন কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবাহের অভিমুখ এমন হইতেছে যে উহার উপরের দিকে একটি উত্তর মেরুর সৃষ্টি হইতেছে। (অর্থাৎ, উপর হইতে দেখিলে কুণ্ডলীর

মধ্যে বামাবর্তী প্রবাহ যাইতেছে)। এই আবিষ্ট উত্তর মেরু চুম্বকের উত্তর মেরুকে বিকর্ষণ করিবে। অর্থাৎ, আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ এমন যে উহা যে কারণে সৃষ্টি হইতেছে (উত্তর মেরুর ভিতরে প্রবেশের দরুণ) সেই কারণকেই বাধা দিতেছে। উত্তর মেরুকে যখন কুণ্ডলী হইতে বাহির করিয়া লওয়া হইবে তখন প্রবাহের অভিমুখ এমন হয় যে কুণ্ডলীর মুখে দক্ষিণ মেরুর সৃষ্টি হয় ও উহা চুম্বকের দূরে যাওয়াতে বাধা দেয়। কাজেই আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ নিজের সৃষ্টির কারণকে (অর্থাৎ চুম্বকের দূরে যাওয়াকে) বাধা দেয়।

চুম্বকের বদলে কুণ্ডলী লইয়া পরীক্ষা করিলেও একই ফল পাওয়া যায়।

6.6. **পরীক্ষার ফল (Results of experiments) :**

উপরের সমস্ত পরীক্ষার ফলগুলিকে আমরা সংক্ষেপে 121 পৃষ্ঠায় বর্ণিত তালিকার ন্যায় প্রকাশ করিতে পারি।

6.7. **তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের সূত্র (Laws of Electromagnetic Induction) :**

প্রথমে ফ্যারাডে ও পরে লেন্‌জ (Lenz) তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের পরীক্ষার ফলগুলিকে কয়েকটি সূত্রে প্রকাশ করেন।

ফ্যারাডের সূত্র (Faraday's Laws) :

(i) **প্রথম সূত্র :** কোন কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন ঘটিলে কুণ্ডলীর মধ্যে তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হয়।

কোন কুণ্ডলীর মধ্যে একটি চৌম্বক মেরু বা তড়িৎবাহী আর একটি কুণ্ডলী ঢুকাইয়া উহার সহিত সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন ঘটানো যায়, ফলে উহার মধ্যে তড়িচ্চালক বলের আবেশ হয়।

(ii) **দ্বিতীয় সূত্র :** কুণ্ডলীর মধ্যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল উহার সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখার পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক।

কোন এক সময়ে যদি কুণ্ডলীর সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখার সংখ্যা N_1 হয়, এবং t সেকেণ্ডে এই সংখ্যা পরিবর্তিত হইয়া N_2 হয়, তবে পরিবর্তনের হার

$$= \frac{N_2 - N_1}{t}$$

$\therefore$ দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে $E \propto \frac{N_2 - N_1}{t}$ ।

আবিষ্ট প্রবাহের প্রকৃতি

আবেশ কারী	গতির অভিমুখ	গতির হার	আবিষ্ট প্রবাহের পরিমাণ, অভিমুখ (উপর হইতে দেখিলে) ও সৃষ্ট চৌম্বক মেরুর প্রকৃতি
1. চৌম্বক উত্তর মেরু	ভিতর দিকে	ধীরে	অল্প, বামাবর্তী, উত্তর মেরু
2. ,,	ভিতর দিকে	দ্রুত	বেশী, বামাবর্তী, উত্তর মেরু
3. ,,	বাহির দিকে	ধীরে	অল্প, দক্ষিণাবর্তী, দক্ষিণ মেরু
4. ,,	বাহির দিকে	দ্রুত	বেশী, দক্ষিণাবর্তী, দক্ষিণ মেরু
5. চৌম্বক দক্ষিণ মেরু	ভিতর দিকে	ধীরে	অল্প, দক্ষিণাবর্তী, দক্ষিণ মেরু
6. ,,	ভিতর দিকে	দ্রুত	বেশী, দক্ষিণাবর্তী, দক্ষিণ মেরু
7. ,,	বাহির দিকে	ধীরে	অল্প, বামাবর্তী, উত্তর মেরু
8. ,,	বাহির দিকে	দ্রুত	বেশী, বামাবর্তী, উত্তর মেরু
9. বামাবর্তী তড়িৎপ্রবাহ	ভিতর দিকে	ধীরে	অল্প, বামাবর্তী, উত্তর মেরু
10. ,,	ভিতর দিকে	দ্রুত	বেশী, বামাবর্তী, উত্তর মেরু
11. ,,	বাহির দিকে	ধীরে	অল্প, দক্ষিণাবর্তী, দক্ষিণ মেরু
12. ,,	বাহির দিকে	দ্রুত	বেশী, দক্ষিণাবর্তী, দক্ষিণ মেরু
13. দক্ষিণাবর্তী প্রবাহ	ভিতর দিকে	ধীরে	অল্প, দক্ষিণাবর্তী, দক্ষিণ মেরু
14. ,,	ভিতর দিকে	দ্রুত	বেশী, দক্ষিণাবর্তী, দক্ষিণ মেরু
15. ,,	বাহির দিকে	ধীরে	অল্প, বামাবর্তী, উত্তর মেরু
16. ,,	বাহির দিকে	দ্রুত	বেশী, বামাবর্তী, উত্তর মেরু

ফ্যারাডের সূত্রের সাহায্যে তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের কারণ এবং পরিমাণ সম্বন্ধে ধারণা পাওয়া যায়।

লেন্‌জের সূত্র (Lenz's Law) : আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ এমন যে উহা আবেশের কারণকে বাধা দেয়।

কুণ্ডলীর মধ্যে যদি উত্তর মেরু প্রবেশ করানো যায়, তবে কুণ্ডলীর মধ্যে (উপর হইতে দেখিলে) বামাবর্তী প্রবাহ হইয়া একটি উত্তর মেরুর সৃষ্টি হয় ও উহা আবেশী উত্তর মেরুকে বাধা দেয়। আবার আবেশী উত্তর মেরুকে বাহির করিয়া লইবার সময়ে কুণ্ডলীব মুখে দক্ষিণ মেরুর সৃষ্টি হইয়া উত্তর মেরুর দূরে গমনকে বাধা দেয়।

শক্তির নিত্যতা হইতে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ কেন এই রকম হয়, তাহা বুঝিতে পারা যায়।

উপরেব উদাহরণে দেখ, যদি কুণ্ডলীর মধ্যে উত্তর মেরু ঢুকাইবার সময়ে কুণ্ডলীর মুখে দক্ষিণ মেরুর সৃষ্টি হইত তাহা হইলে এই দক্ষিণ মেরুর আকর্ষণে আবেশী চুম্বক দ্রুত কুণ্ডলীর মধ্যে ঢুকিয়া যাইত, উহাকে ঢুকাইবার জন্য প্রথমে সামান্য একটু শক্তি ব্যয় করিয়া গতি দেওয়া হইলেই উহা অনেকটা যাইতে পারিত। কাজেই সামান্য শক্তি ব্যযে চুম্বকের অনেকটা সরণ পাওয়া যাইত।

6.8. গাণিতিক হিসাবে, লেন্‌জের সূত্র ও ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্রকে মিলাইয়া আমরা আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলকে মাপিবার উপায় বাহির করিতে পারি।

এই দুই সূত্র হইতে, $E \propto -\dfrac{N_2 - N_1}{t}$,

কিংবা, $E = -\dfrac{K.N_2 - N_1}{t}$।

$\dfrac{N_2 - N_1}{t}$-এর পরিমাণ 1 হইলে $E = -K$।

এখন, K-এর মান 1 ধরিলে E-এর নূতন একক পাওয়া যায়।

E-কে এই এককে প্রকাশ করিলে,

$$E = -\frac{N_2 - N_1}{t}।$$

E-এর এই একককে তড়িৎ-চুম্বকীয় একক বিভব বলে।

1 ভোল্ট $= 10^8$ তড়িৎ-চুম্বকীয় বিভব।

6.9. **অনুশীলন ঃ**

একটি কুণ্ডলীতে 30 পাক তার আছে ও উহার গড় প্রস্থচ্ছেদ 20 ব. সেমি.। ইহা 100 ওরষ্টেড/ব. সেমি. একটি বলক্ষেত্রে অবস্থিত। $\frac{1}{100}$ সেকেণ্ডে কুণ্ডলীকে এই বলক্ষেত্র হইতে সরাইয়া লইলে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল কত হইবে?

কুণ্ডলীর প্রস্থচ্ছেদ 20 ব.সেমি.। প্রতি একক বর্গক্ষেত্রে 100 ওরষ্টেড প্রাবল্য রহিলে কুণ্ডলীর প্রস্থচ্ছেদে সংশ্লিষ্ট বলরেখার সংখ্যা $= 20 \times 100 = 2000$ ওরষ্টেড। কুণ্ডলীর প্রতিটি পাকের সহিত এই পরিমাণ বলরেখা সংশ্লিষ্ট রহিয়াছে, সুতরাং কুণ্ডলীর 30 পাকে মোট সংশ্লিষ্ট বলরেখার পরিমাণ 2000×30 ধরা যাইতে পারে।

এই সংশ্লিষ্ট বলরেখা $\frac{1}{100}$ সেকেণ্ডে শূন্য হইয়া যাইতেছে।

অতএব, $N_1 = 2000 \times 30$; $N_2 = 0$

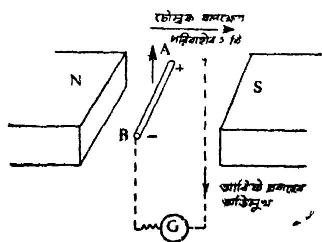
$t = \frac{1}{100}$ সেকেণ্ড।

$$\therefore \text{ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল } E = -\frac{N_2 - N_1}{t} = \frac{2000 \times 30}{\frac{1}{100}}$$

$= 6 \times 10^6$ তড়িৎ-চুম্বকীয় একক।

$= \frac{6 \times 10^6}{10^8} = 0\,06$ ভোল্ট।

6.10. **চৌম্বক বলক্ষেত্রে পরিবাহীর গতি ও তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ (Motion of a Conductor in a magnetic field and Electromagnetic Induction) :**



6·4

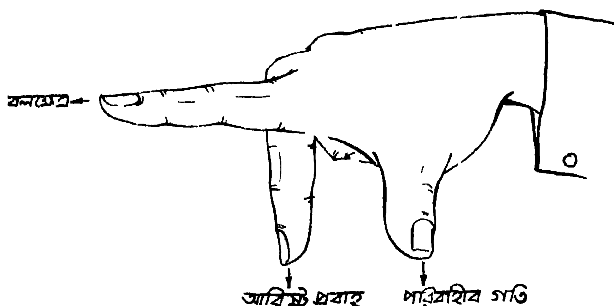
কোন চুম্বক ক্ষেত্রে একটি পরিবাহী রাখিয়া উহাকে যদি নাড়ানো যায় তবে উহার সহিত সংশ্লিষ্ট বলরেখার পরিবর্তন ঘটিলে উহার মধ্যে তড়িৎ-

চুম্বকীয় বিভবের আবেশ হয়। এই তথ্যের ব্যবহারিক প্রয়োগই আজ বিদ্যুতের উৎপাদন সহজ করিয়া বিদ্যুতের ব্যবহারকে ব্যাপক করিয়াছে।

6·4 নং চিত্রে দেখ, দুইটি চৌম্বক মেরুর মধ্যে একটি পরিবাহী তার AB রাখা হইয়াছে। চৌম্বক বলক্ষেত্রের অভিমুখ চিত্রে দেখিতে পাইবে। এখন পরিবাহী তারটিকে তীর-চিহ্নিত উপর দিকে সরাইলে উহার মধ্যে তড়িৎ-চালক বলের আবেশ হয়। এখন পরিবাহীকে যদি একটি গ্যালভানোমিটারের সহিত যুক্ত করা যায় তবে উহার মধ্যে প্রবাহের সৃষ্টি হইবে। প্রবাহের অভিমুখ কিরূপ হইবে তাহা চিত্রে দেখানো হইয়াছে।

6.11. ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত সূত্র (Fleming's Right-hand Rule) :

তোমরা পূর্বে দেখিয়াছ, চৌম্বক বলরেখায় একটি প্রবাহ বহনকারী



6·5

পরিবাহী থাকিলে উহার সরণ হয় ও উহার সরণের অভিমুখ ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র দ্বারা বাহির করা যায়।

তাহা হইলে আমরা বুঝিতে পারি, কোন বলরেখার মধ্যে একটি পরিবাহী রাখিয়া তাহার সরণ সৃষ্টি করিলে তাহার মধ্যে প্রবাহের আবেশ হইবে। এই প্রবাহ যেহেতু লেন্জের সূত্র মানিয়া চলে, অতএব উহার মূল কারণকে বাধা দিবে। কাজেই ফ্লেমিং-এর বাম হস্তের সূত্রে আমরা প্রবাহের যে অভিমুখ ব্যবহার করি, এই আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ তাহার বিপরীত হইবে। অতএব এখানে প্রবাহের অভিমুখ বাহির করিবার জন্য দক্ষিণ-হস্ত সূত্র ব্যবহার করা যায়। (পরীক্ষা করিয়া দেখ, ডান হাত ও বাম হাতের আঙুলগুলির অবস্থিতি বিপ্রতীক)।

কাজেই, চৌম্বক বলক্ষেত্রে কোন পরিবাহীর সরণ হইলে প্রবাহের আবেশ হয়, এবং এই আবেশের অভিমুখ ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ-হস্ত সূত্র হইতে পাওয়া যায়। এই সূত্র অনুসারে, দক্ষিণ হস্তের আঙুলগুলি এমন ভাবে ছড়ানো হয় যে তর্জনী, মধ্যমা ও অঙ্গুষ্ঠ পরস্পর সমকোণে থাকে। তাহা হইলে, যদি তর্জনী (Forefinger) বলক্ষেত্রের (Field—F), এবং অঙ্গুষ্ঠ (thuMb) পরিবাহীর গতির (Motion—M) অভিমুখ দেয়, তবে মধ্যমা (mIddle finger) আবিষ্ট প্রবাহের (Current—I) অভিমুখ দেখাইবে (চিত্র নং 6·5)।

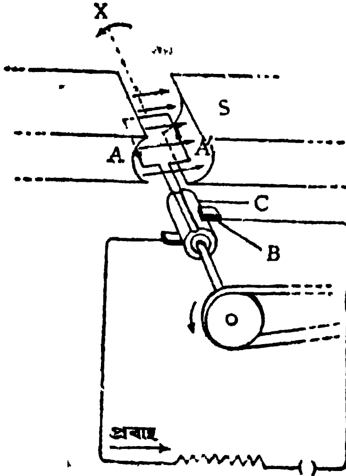
6.12. **ডায়নামো (Dynamo)** : চৌম্বক বলক্ষেত্রের মধ্যে পরিবাহীকে ঘুরাইয়া তাহার মধ্যে তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের ফলে যে তড়িৎ-চালক বল সৃষ্টি হয় তাহাকেই বিদ্যুৎ-সরবরাহের কাজে সবদেশে ব্যবহার করা হয়। এইরূপ যন্ত্রকে ডায়নামো বা জেনারেটর বলে। সাধারণতঃ ডায়নামো বা জেনারেটরে অনেকগুলি কুণ্ডলী থাকে ও চৌম্বক বলক্ষেত্র সৃষ্টি করিবার জন্য বৃত্তের আকারে অনেকগুলি চৌম্বক মেরু ব্যবহার করা হয়, তবে যন্ত্র যতই জটিল হউক না কেন, উহার নীতি তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের উপর প্রতিষ্ঠিত এবং উহার মধ্যে প্রবাহের অভিমুখ ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ-হস্ত সূত্র হইতে পাওয়া যায়।

ঘূর্ণায়মান কুণ্ডলীকে আর্মেচার (Armature) বলে। এই আর্মেচার ঘুরাইবার জন্য বিভিন্ন পদ্ধতি প্রয়োগ করা হয়। জলবিদ্যুৎ কেন্দ্রগুলিতে আর্মেচারটি টারবাইন নামক যন্ত্রের সহিত সংযুক্ত থাকে, এবং এই টারবাইনকে জলের বেগের সাহায্যে ঘুরানো হয়। কলিকাতা বিদ্যুৎ-সরবরাহ কোম্পানীতে আর্মেচার একটি বাষ্প এঞ্জিনের সহিত যুক্ত থাকে। কয়লা পুড়াইয়া তাহার সাহায্যে জলকে বাষ্প করিয়া সেই বাষ্প দিয়া আর্মেচার ঘুরানো হয়। ছোট ছোট সহরে আর্মেচার ঘুরাইবার জন্য ডিজেল বা অন্য তৈলে চালিত এঞ্জিন ব্যবহার করা হয়। পাশ্চাত্য দেশে আণবিক শক্তির সাহায্যে জলকে বাষ্পে পরিণত করিয়া সেই বাষ্প ব্যবহারে আর্মেচার ঘুরাইবার পরিকল্পনাও গৃহীত হইয়াছে।

ডায়নামো যন্ত্রের একটি সহজ পরিকল্পনা 6·6 নং চিত্রে দেখা যাইবে। এই ডায়নামোটিতে একমুখী প্রবাহের (Direct current বা D.C.) সৃষ্টি হয়।

AA′ কুণ্ডলীটির দুই প্রান্ত একটি কমুটেটর (Commutator) C-এর দুইটি অন্তরিত অংশে যুক্ত আছে। কমুটেটরের দুই অংশে দুইটি কার্বন দণ্ড বা

ব্রাশ (brush) B চাপিয়া থাকে। কমুটেটর ও কুণ্ডলীকে একটি মোটর ও বেল্‌টের সাহায্যে চিত্রে দেখানো দিকে ঘুরানো হয়। আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ চিত্রে দেখানো হইয়াছে। ব্রাশ হইতে বহির্বর্তনীতে প্রবাহ প্রেরিত হয়।



6·6

প্রবাহের অভিমুখের ব্যাখ্যা আমরা ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত সূত্র হইতে পাইব। কুণ্ডলীর A অংশ চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে উপর হইতে নীচের দিকে পরিভ্রমণ করিতেছে। অতএব উহাতে যেদিকে প্রবাহ হইতেছে তাহা A-এর গায়ে অংকিত তীর হইতে দেখা যাইবে। কুণ্ডলীর A' অংশ নীচ হইতে উপর দিকে যাইতেছে অতএব ইহার মধ্যে প্রবাহ বিপরীতমুখী। কিন্তু A ও A' শ্রেণী সজ্জায় অবস্থিত বলিয়া এই উভয় প্রবাহই যুক্ত হইয়া বাহিরে অবস্থিত পরিবাহীর মধ্যে নির্দিষ্ট দিকে চলিতেছে।

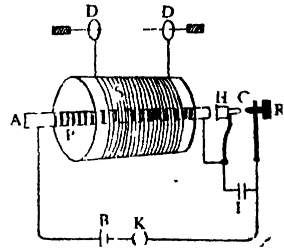
উভমুখী প্রবাহের (Alternating Current বা A.C.) জন্য কমুটেটরের বদলে স্লিপ রিং (Slip Ring) নামক ব্যবস্থা করা হয়।

প্রকৃত ডায়নামোর মধ্যে এইরূপ অনেকগুলি কুণ্ডলীর প্রয়োজন তোমরা বুঝিতে পারিবে। AA' কুণ্ডলীটি যখন ঘুরিয়া সমকোণী অবস্থানে আসিবে তখন উহার গতি চৌম্বক বলক্ষেত্রের সমান্তরাল হইবে বলিয়া ইহার মধ্যে আর কোন আবেশ হইবে না, ফলে প্রবাহ বন্ধ হইয়া যাইবে। তাহা ছাড়া হিসাব করিয়া দেখা যায়, (অনুশীলন 6·9 দ্রষ্টব্য), আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের পরিমাণ খুবই সামান্য। অতএব এমন ব্যবস্থা করা হয় যে AA' কুণ্ডলী যখন কার্যক্ষম রহিবে না, তখন আর্মেচারের অন্য কোন কুণ্ডলী AA' কুণ্ডলীর পূর্বের অবস্থানে আসিয়া আবেশের সৃষ্টি করিবে।

AA' কুণ্ডলীর মত যতগুলি কুণ্ডলী ব্যবহৃত হয়, কমুটেটরকে তত জোড়া অংশে বিভক্ত করা হয়।

আবার যদি চিত্রে প্রদর্শিত চুম্বকের সহিত সমকোণ অবস্থানে; আর এক জোড়া মেরু রাখা যায়, তাহা হইলে চিত্রে উহার বলক্ষেত্র উপর নীচে হইবে। অতএব AA' কুণ্ডলী নিজের সমকোণী অবস্থানে এই বলক্ষেত্রের সমকোণে যাইবে বলিয়া ইহাতে পুনরায় আবেশ হইবে। সেজন্য শুধু কয়েকটি কুণ্ডলী নয়, কয়েক জোড়া মেরুও ব্যবহার করা হয়।

6.13. **রামকর্ফের আবেশ-কুণ্ডলী (Ruhmkorff's Induction Coil) :** সামান্য বিভব-বৈষম্যকে রূপান্তরিত করিয়া বড় বিভব-বৈষম্যে পরিণত করিবার জন্য রামকর্ফের কুণ্ডলী ব্যবহার করা হয়।



6·7
আবেশ-কুণ্ডলী

কতকগুলি কাঁচা লোহার দণ্ড একসংগে জুড়িয়া একটি কোর বা মজ্জা (Core) A তৈয়ারী হয়। ইহার উপরে পুরু তারের অল্প কয়েকটি পাকের একটি কুণ্ডলী P জড়ানো থাকে। এই কুণ্ডলীকে মুখ্য কুণ্ডলী বা প্রাইমারী (Primary coil) বলে। মুখ্য কুণ্ডলীর উপরে সরু অন্তরিত তারের অনেক পাকের গৌণ কুণ্ডলী (Secondary) S জড়ানো থাকে। গৌণকুণ্ডলীর দুই প্রান্ত স্ক্রু স্ফুলিঙ্গান্তর (Spark gap) D,D-তে যুক্ত থাকে এবং দুইটি প্রান্তীয় স্ক্রুতেও (terminal screw) আটকানো থাকে।

মুখ্য কুণ্ডলীটি একটি 6 বা 12 ভোল্টের ব্যাটারী B, এবং চাবি K হইয়া স্ক্রু R-এ যুক্ত হয়। R স্ক্রুকে ঘুরাইয়া ইহার মুখ C-কে কাঁচা লোহার হাতুড়ি (Hammer) H এর পিছনে স্পর্শ করানো যায়। ব্যবহারের ফলে যাহাতে স্ক্রু-এর অগ্রভাগ ও হাতুড়ির পশ্চাৎভাগ না পুড়িয়া যায় সেজন্য এই দুই বিন্দু প্ল্যাটিনাম ধাতুর তৈয়ারী হয়। হাতুড়ি H একটি স্থিতিস্থাপক ইস্পাতের পাতের উপরে আটকানো থাকে। এই ইস্পাতের পাতের গোড়ায় মুখ্যকুণ্ডলীর অপর প্রান্ত যুক্ত থাকে। হাতুড়ি ও স্ক্রু-এর গোড়ায় একটি কণ্ডেন্সার (Condenser) F যুক্ত করিয়া C-তে স্ফুলিংগের তীব্রতা কমানো হয়।

কার্যবিধি : R স্ক্রুকে ঘুরাইয়া হাতুড়ি ও স্ক্রুকে যুক্ত করা হয়। চাবি যুক্ত করিলে মুখ্য কুণ্ডলীতে প্রবাহের সৃষ্টি হইয়া কোর A চুম্বকে পরিণত হয়। ফলে হাতুড়ি H ইহার দ্বারা আকৃষ্ট হয়। ফলে C-তে বর্তনীর যোগ বিচ্ছিন্ন হয় ও প্রবাহ বন্ধ হয়। A কোরের চুম্বকত্ব লোপ পায়, ফলে হাতুড়ি

ইস্পাতের পাতের স্থিতিস্থাপক গুণের জন্য আবার পূর্বের অবস্থানে ফিরিয়া যায়। পুনরায় বর্তনীর সংযোগ স্থাপিত হয় ও আবার প্রবাহ হয়। কাজেই মুখ্য কুণ্ডলীতে দ্রুত পরপর প্রবাহ চালু ও বিচ্ছিন্ন হয়।

মুখ্য কুণ্ডলীতে যখন প্রবাহ চালু হয় তখন গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের জন্য বিপরীতমুখী তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি। গৌণ কুণ্ডলীতে পাকের সংখ্যা বেশী হওয়ায় এই বিভব অতি উচ্চমাত্রার হয়। আবার প্রবাহের বিচ্ছেদের সময় গৌণ কুণ্ডলীতে মুখ্য কুণ্ডলীর বিভব-বৈষম্যের একমুখী উচ্চ বিভব-বৈষম্যের সৃষ্টি হয়।

মুখ্য কুণ্ডলীর নিজের মধ্যে যে তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ হয় তাহার জন্য, এবং কণ্ডেন্সারের জন্য প্রবাহের চালু হইতে যে সময় লাগে তাহা বিচ্ছেদের সময় অপেক্ষা অনেক বেশী। কাজেই গৌণ কুণ্ডলীতে সংশ্লিষ্ট বলরেখার পরিবর্তনের হার বিচ্ছেদের সময়ে বেশী হয় ও ফলে বিচ্ছেদের সময়েই গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল অনেক বেশী হয়।

সেজন্য মোটামুটি গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল একমুখী বলা যায়।

আবেশ কুণ্ডলীতে প্রায় 10,000 ভোল্ট পর্যন্ত মাত্রার বিভব বৈষম্য সৃষ্টি করা যায়।

প্রশ্নমালা

1. আবিষ্ট প্রবাহ কাহাকে বলে ? (a) চুম্বক ও (b) প্রবাহবাহী পরিবাহী দ্বারা কি ভাবে ইহার পরীক্ষা সম্ভব ? কোন্ কোন্ বিষয়ের উপরে আবিষ্ট প্রবাহের মাত্রা ও অভিমুখ নির্ভর করে ?

What is an induced current ? How can it be demonstrated by using (a) a magnet and (b) a conductor carrying current. On what factors do the magnitude and direction of the induced current depend ? (cf. C. U. 1921, '28, '42, Pat. 1924 ; Al. 1929.)

2. কোন বর্তনীতে তড়িৎ-কোষ না ব্যবহার করিয়াও প্রবাহ সৃষ্টির কয়েকটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

Describe some experiments to produce electric current in a circuit not using any battery. (Dac. U. 1932)

3. এমন তিনটি উপায় বর্ণনা কর যাহাতে কোন বৃত্তাকার কুণ্ডলীতে নির্দিষ্ট অভিমুখে প্রবাহ সৃষ্টি করা যায়। চিত্র আঁকিয়া প্রবাহের অভিমুখ দেখাও।

Describe three methods which can be used to send current in a given direction through a circular coil. Draw diagrams to show the direction of current. (cf. C.U. 1941)

4. একটি কুণ্ডলীর কাছে একটি চুম্বককে নাড়াইয়া কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহ সৃষ্টি করা যায়। (a) প্রবাহের অভিমুখ, (b) প্রবাহের স্থায়িত্বকাল ও (c) প্রবাহের মাত্রা কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে? তোমার উত্তরের প্রমাণে পরীক্ষার বর্ণনা দাও।

A current can be induced in a coil by moving a magnet near it. What conditions determine (a) the direction, (b) the duration, (c) the magnitude of the induced current? Give experimental evidence in support of your answer. (C.U. 1946)

5. তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের সূত্রগুলি বর্ণনা কর ও তাহাদের উপযুক্ত পরীক্ষা দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

State the Laws of Electro-magnetic Induction and describe suitable experiments to demonstrate them.

(C.U. 1926 ; cf. C.U. 1952, '54 ; Bomb. 1932)

6. লেন্‌জের তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের সূত্র বর্ণনা কর ও ইহার সাহায্যে আবেশে প্রবাহ সৃষ্টির ব্যাখ্যা কর।

State Lenz's Law of Electro-magnetic Induction and explain with it the production of electrical current by Induction.

(C.U. 1936, '47, '49 ; cf. Pat. 1948)

7. রামকর্ফের আবেশ-কুণ্ডলীর গঠন ও কার্যনীতি চিত্র সহযোগে বুঝাইয়া দাও।

Explain with the help of a diagram the construction and principle of action of Ruhmkorff's Induction coil.

8. একটি ডায়নামোর সরল বর্ণনা দাও।

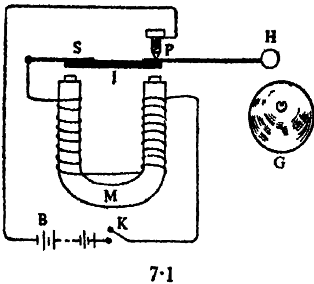
Describe a simple dynamo.

সপ্তম পরিচ্ছেদ

তড়িৎ-বিজ্ঞানের আধুনিক প্রয়োগ

(Modern Applications of Electricity)

7.1. **বৈদ্যুতিক ঘণ্টা (Electric bell or Calling bell) :** কোন কুণ্ডলীর ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে তাহা যে চৌম্বক ক্ষমতা লাভ করে ইহার ব্যবহারই বৈদ্যুতিক ঘণ্টার নির্মাণের ভিত্তি। 7·1 নং চিত্রে একটি বৈদ্যুতিক ঘণ্টার গঠন দেখা যাইতেছে। M একটি তড়িৎ চুম্বক। ইহার ভিতর দিয়া তড়িৎ-প্রবাহ চলিলে ইহা চুম্বকে পরিণত হইয়া কাঁচা লোহার পাত I-কে আকর্ষণ করে, ফলে I-এর সহিত যুক্ত হাতুড়ি (Hammer) H ঘণ্টা (Gong) G-কে আঘাত করিয়া শব্দ সৃষ্টি করে। চিত্রে বৈদ্যুতিক বর্তনীর সংযোগ বুঝিতে পারিবে। চুম্বক হইতে বর্তনী একটি স্প্রিং S-এর সহিত যুক্ত, এই স্প্রিং-এর মাথায় কাঁচা লোহার পাত I আটকানো। চুম্বকের অপর প্রান্ত টেপা চাবী (Push button) K, কোষ B হইয়া সংযোগ-স্ক্রু P-এর সহিত যুক্ত। সাধারণ অবস্থায় কাঁচা লোহার পাতটি স্প্রিং-এর স্থিতিস্থাপকতার জন্য P-এর সহিত লাগিয়া থাকে।



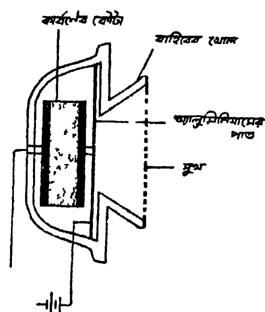
7·1

কার্যনীতি : চাবি K টিপিয়া বর্তনীতে প্রবাহ চালু করিলে প্রবাহ M হইয়া S স্প্রিং-এর মারফৎ P-তে যায় ও সেখান হইতে কোষে ফেরে। কিন্তু প্রবাহের ফলে M চুম্বকিত হইয়া I-কে আকর্ষণ করে, ফলে P বিন্দুতে তড়িৎ-বর্তনী বিচ্ছিন্ন হইয়া প্রবাহ বন্ধ হয়। প্রবাহ বন্ধ হইলে M-এর চুম্বকত্ব নষ্ট হইয়া I আবার পূর্ব অবস্থানে ফিরিয়া গিয়া P-তে পুনরায় সংযোগ স্থাপন করে ও প্রবাহ চালু করে। তৎক্ষণাৎই আবার M চুম্বকিত হইয়া I-কে আকর্ষণ করে ও প্রবাহ বন্ধ হয়। ফলে সেকেণ্ডে বেশ কয়েকবার প্রবাহ চালু ও বন্ধ হয়। প্রতিবার প্রবাহ চালু হইবার সময়ে M দ্বারা আকৃষ্ট

হইয়া I হাতুড়ি H দ্বারা G ঘণ্টাকে আঘাত এবং করে টুং শব্দ হয়। অতএব রিন রিন শব্দ হইতে থাকে।

বাড়িতে অনেক সময়ে কোষের বদলে বাড়ীর বিদ্যুৎ সরবরাহ ব্যবস্থাই ব্যবহৃত হয়।

7.2. **টেলিফোন** (Telephone) : তড়িৎ-প্রবাহের চুম্বকীয় ফলের সাহায্য লইয়া টেলিফোন নির্মাণ করা হয়। টেলিফোনের যে যন্ত্রে কথা বলা হয়, তাহাকে বলে প্রেরক যন্ত্র (Transmitter) ; এবং যাহা কানে দিয়া দূরবর্তী বক্তার কথা শোনা হয়, সেটি গ্রাহক যন্ত্র (Receiver)।



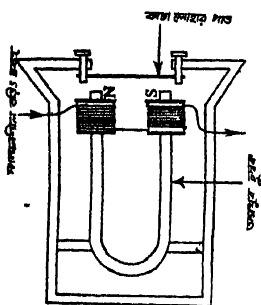
7·2

1876 খৃষ্টাব্দে আমেরিকান বিজ্ঞানী বেল (Bell) টেলিফোন যন্ত্রের উদ্ভাবন করেন। আমেরিকার **এডিসন** প্রেরক যন্ত্রের উন্নতি সাধন করেন। বর্তমানে সাধারণতঃ এডিসনের যন্ত্র প্রেরক হিসাবে ও বেলের যন্ত্র গ্রাহক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

প্রেরক যন্ত্র : এডিসনের আবিষ্কৃত কার্বন মাইক্রোফোনকে প্রেরক যন্ত্র হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্রে একটি পাতলা অ্যালুমিনিয়ামের পিছন হইতে একটি ছোট ধাতুর টুকরা একটি কার্বনের বাক্সের সম্মুখের দেওয়ালে যুক্ত হয়। কার্বনের বাক্সের সামনের ও পিছনের দেওয়াল কার্বনের তৈয়ারী হয়, ও উহার ভিতরে কার্বনের (অর্থাৎ গ্রাফাইটের) দানা ভরা থাকে। কার্বনের বাক্সের পিছনের ডালা ও আলুমিনিয়ামের পাত হইতে তার একটি তড়িৎ-বর্তনীতে যুক্ত হয়। এই বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহিত হইতে থাকে। এখন প্রেরক যন্ত্রের মুখের কাছে কথা বলিলে, বাতাসের কম্পন অ্যালুমিনিয়ামের পাতকে কাঁপায়, ফলে কার্বনের বাক্সে চাপের হ্রাস বৃদ্ধি হইয়া গ্রাফাইটের দানাগুলি কখনও ঘন আবার কখনও তনুভূত হয়। ফলে কার্বনের বাক্সের মোট রোধের হ্রাসবৃদ্ধি হইয়া বর্তনীর তড়িৎ-প্রবাহের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় এই ভাবে শব্দ স্পন্দনশীল প্রবাহে পরিণত হইয়া বর্তনী দিয়া দূরবর্তী শ্রোতার গ্রাহক যন্ত্রে প্রবেশ করে।

গ্রাহক যন্ত্র : এই যন্ত্রে একটি অশ্বখুর চুম্বকের দুই মেরুর কাছে দুইটি

তামার তারের কুণ্ডলী পরানো থাকে। এই চুম্বকটির সম্মুখে একটি কাঁচা লোহার পাত বসানো থাকে। প্রেরক যন্ত্র হইতে স্পন্দনশীল তড়িৎ-প্রবাহ যখন চুম্বকের উপরে জড়ানো কুণ্ডলী দিয়া প্রবাহিত হয়, তখন ইহার ফলে কুণ্ডলীতে স্পন্দনশীল চৌম্বক শক্তির সৃষ্টি হয় ও ইহা অশ্বখুর চুম্বকের স্বাভাবিক শক্তিকে বাড়ায় কমায়। ইহার আকর্ষণে কাঁচা লোহার পাতটি কাঁপিতে থাকে ও সম্মুখের বাতাসে স্পন্দন সৃষ্টি করিয়া শব্দ প্রেরণ করে। কাজেই গ্রাহক যন্ত্রে তড়িৎ-শক্তিকে শব্দশক্তিতে পরিণত করা হয়।

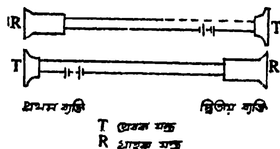


7·3

সরল টেলিফোন-বর্তনী (Simple Telephone circuit) :

7·4 নং চিত্রে টেলিফোন বর্তনীর নীতি দেখানো হইয়াছে।

প্রকৃত বর্তনীতে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের সাহায্য লইয়া এমন ববস্থা করা হয় যে একই বর্তনীতে শব্দ প্রেরণ ও গ্রহণের ব্যবস্থা সম্ভব হয়। আবেশ কুণ্ডলীর সাহায্য লইয়া ইহা সম্ভব হয়।



7·4

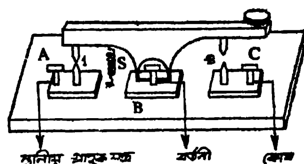
7.3. টেলিগ্রাফ (Telegraph) :

দূরবর্তী কোন স্থানে দ্রুত সংবাদ প্রেরণের জন্য টেলিগ্রাফ ব্যবহার করা হয়। ইহাতেও তড়িৎ-চুম্বকের ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্রে টেলিফোনের মত সোজা কথা শোনা যায় না, তবে বিভিন্ন অক্ষরকে সংকেতের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়, এবং শিক্ষিত অপারেটর সেই সংকেত হইতে সংবাদটি বুঝিয়া লন।

টেলিগ্রাফের তিনটি প্রধান অংশ আছে। (i) প্রেরক (Transmitter), (ii) গ্রাহক যন্ত্র বা মোর্স গ্রাহক (Receiver or Morse Sounder), (iii) রিলে (Relay)।

(i) প্রেরক যন্ত্র : 7·5 নং চিত্রে একটি প্রেরক যন্ত্রের ছবি দেখা যাইতেছে। একটি ইবনাইটের চতুষ্কোণ পাতের উপরে একটি পিতলের চাবী বিশেষ ভাবে বসানো থাকে। A, B ও C তিনটি সংযোগী স্ক্রু, ইহারা যথাক্রমে স্থানীয়

গ্রাহক যন্ত্র, বর্তনী ও কোষের সহিত সংযুক্ত। সাধারণ অবস্থায় S স্প্রিং-এর টানে চাবিটি 1 বিন্দুতে A স্ক্রু এর সহিত সংযুক্ত।

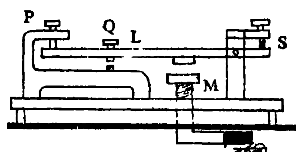


7·5

এই অবস্থায় কোন সংকেত প্রেরিত হয় না, কিন্তু দূরবর্তী প্রেরক যন্ত্র হইতে কোন সংকেত প্রেরিত হইলে উহা বর্তনী ও চাবী বাহিয়া স্থানীয় গ্রাহক যন্ত্রে প্রবেশ করিতে পারে। চাবী টিপিলে 2 নং বিন্দুতে সংযোগ স্থাপিত হয়; তখন কোষ হইতে প্রবাহ বর্তনী বাহিয়া দূরবর্তী গ্রাহক যন্ত্রে প্রবেশ করিতে পারে।

(ii) গ্রাহক যন্ত্র : 7·6 নং চিত্রে গ্রাহক যন্ত্রের গঠন দেখা যাইবে।

একটি তড়িৎ-চুম্বক M-এর আকর্ষণে একটি লিভার L উঠা-নামা করিতে পারে ও দুইটি দৃঢ় সংযোগ-বিন্দু P ও Q-তে আঘাত করিয়া 'ক্লীক' শব্দ করিতে পারে। S স্প্রিং-এর স্থিতিস্থাপকতার জন্য সাধারণ অবস্থায় লিভারটি P সংযোগ-বিন্দুর সহিত যুক্ত থাকে। প্রেরক যন্ত্রের (চিত্র নং 7·5) চাবি টিপিয়া 2 নং বিন্দুতে যোগ স্থাপন করিলে প্রেরক যন্ত্রের কোষের সাহায্যে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহিত হয় ও গ্রাহক যন্ত্রের M চুম্বকে পরিণত হয়, ফলে লিভার L নামিয়া Q বিন্দুতে আঘাত করিয়া শব্দ সৃষ্টি করে। প্রেরকের চাবি ছাড়িয়া দিলে কোষের যোগ বিচ্ছিন্ন হয় ও প্রবাহ বন্ধ হয়। ফলে M তাহার চুম্বকত্ব হারায় ও L লিভার পুনরায় উঠিয়া গিয়া P বিন্দুতে আঘাত করিয়া আর একবার শব্দ করে।



7·6

যদি প্রেরকের চাবি বেশীক্ষণ টিপিয়া রাখা হয়, তবে এই দুইটি ক্লিকের মধ্যে অবকাশ দীর্ঘ হয়, তখন ইহাকে একটি 'ড্যাশ্' (Dash) সংকেত বলা হয়। চাবিটি টিপিয়াই ছাড়িয়া দিলে ক্লিক দুইটি খুব দ্রুত হয়, তখন ইহাদের মিলিয়া একটি 'ডট্' (Dot) বলা হয়। বিভিন্ন অক্ষরকে এইরূপ কয়েকটি ড্যাশ ও ডটের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়।

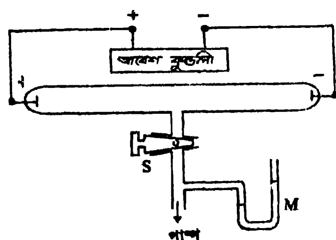
(iii) রিলে (Relay) যন্ত্রে অনেক দূরে শব্দ প্রেরণ করিবার জন্য প্রবাহকে জোরালো করা হয়।

*আধুনিক পদার্থ-বিজ্ঞান

7.4. গ্যাসের ভিতর দিয়া তড়িতের সঞ্চালন (Conduction of Electricity through gases) : 1705 সালে হক্‌স্‌বী (Hauksbee) লক্ষ্য করেন যে একটি পাত্রে নিম্ন চাপের বাতাস লইয়া উহার দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিলে বাতাসের ভিতরে আলোকের সৃষ্টি হয়। এই ঘটনা হইতে ক্রমে আধুনিক পদার্থ-বিজ্ঞানের একটি বিরাট শাখা গড়িয়া উঠিল।

বাতাসের মধ্যে সর্বদাই কয়েকটি আয়ণ (Ion) থাকে। বাতাসের স্তম্ভের দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করিলে ধনাত্মক আয়ণগুলি ক্যাথোডের অর্থাৎ ঋণাত্মক তড়িৎ দ্বারের দিকে ও ঋণাত্মক আয়ণগুলি অ্যানোডের অর্থাৎ ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারের দিকে যায় ও ক্রমে গতিশক্তি লাভ করে। যদি বাতাসের চাপ উচ্চ থাকে, তবে এই আয়ণগুলি বাতাসের অণুগুলির সহিত ক্রমাগত আহত হইয়া গতিশক্তি হারায়, ফলে কিছুই হয় না। কিন্তু চাপ যদি কম থাকে তবে বাতাসের অণুর সংখ্যা কমিয়া যাওয়ায় এক অণু হইতে অন্য অণুতে দূরত্ব বাড়িয়া গিয়া আঘাতের সংখ্যা কমিয়া যায়। ফলে এক অণু হইতে অন্য অণুতে যাইতে যাইতে আয়ণগুলি এতটা শক্তি লাভ করে যে ইহারা যে অণুকে আঘাত করে তাহার ইলেকট্রনকে বাহির করিয়া দিয়া সেই অণুকেই আয়ণিত করে ও সেই আয়ণিত অণু নিজের শক্তি ব্যয় করিয়া আলোকের সৃষ্টি করে। এই অবস্থায় গ্যাস আয়নের সাহায্যে তড়িৎ সঞ্চালিত করিতে পারে।

গ্যাসে তড়িতের সঞ্চালন বুঝিতে গেলে নিম্নলিখিত যন্ত্রের প্রয়োজন। একটি প্রায় 12 – 15 সেমি. দীর্ঘ ও 3 – 4 সেমি. ব্যাসের কাচের লম্বা নলের দুই প্রান্তে দুইটি বিশুদ্ধ অ্যালুমিনিয়ামের তড়িৎ-দ্বার আছে। এই কাচের নলটিকে একটি ষ্টপকক্ S-এর মাধ্যমে পাম্প ও ম্যানোমিটারের সহিত যুক্ত করা যায়। তড়িৎ-দ্বার দুইটি একটি রামকর্ফের আবেশকুণ্ডলী বা ব্যাটারীর সহিত যুক্ত করিয়া ইহাদের মধ্যে একটি একমুখী উচ্চ (কয়েক শত ভোল্ট বিভব-বৈষম্য) সৃষ্টি করা হয়।

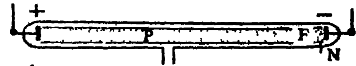


7·7

* পশ্চিমবংগ উচ্চ-মাধ্যমিক শিক্ষা বোর্ডের সিলেবাসেব বহির্ভূত, কিন্তু অন্যান্য বোর্ডের সিলেবাসের অন্তর্ভুক্ত।

(i) স্বাভাবিক চাপে বাতাসের মধ্য দিয়া কোন প্রবাহ চলিবে না।

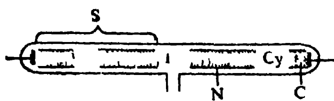
(ii) চাপ কমাইলে দুই তড়িদ্বারের মধ্যে মাঝে মাঝে তড়িৎ-স্ফুলিংগ (Spark) যাইতে থাকিবে। কত চাপে এইরূপ হইবে তাহা বিভব-বৈষম্যের উপরে নির্ভর করে।



7·8 (a)

(iii) প্রায় 1 মিমি. চাপে তড়িৎ স্ফুলিংগ মিলাইয়া গিয়া নলের অধিকাংশ স্থান একটি রঙীন আলোকে ভরিয়া যায়। এই আলোক ধনাত্মক তড়িৎদ্বার হইতে নির্গত হয় বলিয়া ইহাকে পজিটিভ গ্লো (Positive Glow) বলে [চিত্র নং 7·8 (a)]। ইহা কিন্তু ক্যাথোড পর্যন্ত যায় না ; ইহার ও ক্যাথোডের মধ্যে একটি অন্ধকার অঞ্চল F থাকে, ইহাকে ফ্যারাডে ডার্ক স্পেস (Faraday Dark Space) বলে। ক্যাথোডের গায়ে একটি উজ্জ্বল আভা N দেখা যায়, ইহাকে নেগেটিভ গ্লো (Negative Glow) বলা হয়। পজিটিভ গ্লো'র বর্ণ গ্যাসের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। নলে বাতাস থাকিলে ইহার রঙ হয় গোলাপী-লাল (Mauve), হাইড্রোজেনের বেলায় ইহার রঙ নীলাভ লাল, নাইট্রোজেনে লাল, প্রভৃতি। গ্যাসের এই পজিটিভ গ্লোকে বিজ্ঞাপনের কাজে লাগানো হয়। সিনেমা-গৃহে, বা বড় বড় কোম্পানীর বিজ্ঞাপনের তোমরা ইহার ব্যবহার দেখিবে।

(iv) প্রায় 0·5 মিমি. চাপে পজিটিভ গ্লো, কতকগুলি স্তরে (S) ভাঙিয়া যায়, ইহাদের ষ্ট্রায়েশন্‌স্ (Striation) বলে [চিত্র নং 7·8 (b)]। ইহারা ক্যাথোডের দিকে একটু উত্তল (Convex) হয়। নেগেটিভ গ্লো ক্যাথোড হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া অ্যানোডের দিকে কিছুটা আগাইয়া আসে। ইহারও ষ্ট্রায়েশন্‌সের মধ্যে ফ্যারাডে ডার্ক স্পেস থাকে। নেগেটিভ গ্লো ও ক্যাথোডের মধ্যে আর একটি নূতন অন্ধকার অঞ্চল Cr দেখা দেয়, ইহাকে ক্রুক্‌স্ ডার্ক স্পেস (Crookes' Dark Space) বলে। ক্যাথোডের গায়ে নূতন আভা ক্যাথোড গ্লো (Cathode Glow) C দেখা দেয়।



7 8 (b)

(v) চাপ আরও কমাইতে থাকিলে পজিটিভ গ্লো, ফ্যারাডে ডার্ক স্পেস, নেগেটিভ গ্লো অ্যানোডের দিকে আকৃষ্ট হইতে হইতে অবশেষে 0·01 মিমি.

বা আরও নিম্নচাপে সমস্ত নলটি ক্রুক্স ডার্ক স্পেসে ভরিয়া যায়। এই সময়ে ক্যাথোড হইতে অদৃশ্য রশ্মি বাহির হইয়া অ্যানোডের দিকে চলে। এই রশ্মিকে ক্যাথোড রশ্মি (Cathode Rays) বলে। এই রশ্মি অ্যানোডের পিছনের দেওয়ালে আঘাত করিয়া আভা (flourescence) সৃষ্টি করে। ক্যাথোড রশ্মি প্রকৃতপক্ষে ইলেক্‌ট্রন ছাড়া আর কিছুই নয়।

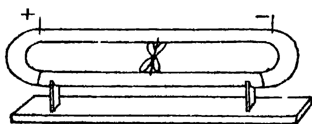
7.5. **ক্যাথোড রশ্মি (Cathode Rays):** কোন নলের ভিতরে 0·01 মিমি. বা আরও নিম্নচাপ সৃষ্টি করিয়া উহার দুই প্রান্তে দুইটি অ্যালুমিনিয়াম বা অন্য ধাতুর তড়িৎ-দ্বার দ্বারা কয়েক শত ভোল্ট (400-1000) বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করিলে উহার ক্যাথোড হইতে ক্যাথোডের পৃষ্ঠের সহিত লম্ব অভিমুখে ইলেক্‌ট্রন নির্গত হইতে থাকে। এই ইলেক্‌ট্রন গুচ্ছকে ক্যাথোড রশ্মি বলে।

ক্যাথোড রশ্মি যে প্রকৃত পক্ষে তড়িৎবাহী ভরযুক্ত কণা দ্বারা গঠিত ইহা বিভিন্ন পরীক্ষায় প্রমাণ করা যায়।

(i) ক্যাথোড রশ্মি নলের দুই পার্শ্বে চুম্বকের দুই মেরু রাখিলে দেখা যাইবে অ্যানোডের পিছন দিকে ক্যাথোড রশ্মির আঘাতে যে উজ্জ্বল অঞ্চল সৃষ্টি হইয়াছিল তাহা সরিয়া যাইবে। ক্যাথোড রশ্মিকে ঋণাত্মক তড়িৎ ধরিয়া ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত সূত্র প্রয়োগ করিলে এই অপসরণের কারণ বুঝিতে পারা যায়।

(ii) নলের দুই পার্শ্বে বৈদ্যুতিক বলক্ষেত্র প্রয়োগ করিলে দেখা যাইবে যে ক্যাথোড রশ্মিগুচ্ছ উচ্চ বিভবের দিকে সরিয়া যাইবে।

(iii) ক্যাথোড রশ্মির ভর ও ভরবেগ আছে বলিয়া ইহা বল প্রয়োগ করিতে সক্ষম। কোন নলের তড়িৎদ্বার দুইটিকে উপরে উঠাইয়া ইহাদের মধ্যে একটি হাল্‌কা অভ্রের চক্র পাতলা একজোড়া পাটির (rails) এর উপরে রাখা হয়, যেন, ক্যাথোড রশ্মি চক্রের উপরের পাখায় (vane) আঘাত করে। এখন ক্যাথোড রশ্মি সৃষ্টি করিলে দেখা যাইবে চক্রটি অ্যানোডের দিকে চলিতেছে। ক্যাথোড রশ্মির আঘাতেই এইরূপ হয়।



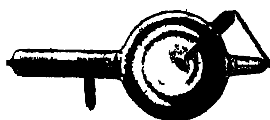
7·9

(iv) ক্যাথোড রশ্মি তাপ সৃষ্টি করিতে পারে। কোন নলের ক্যাথোডকে

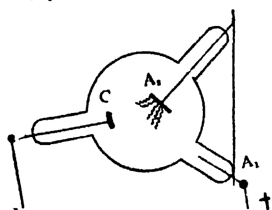
অবতল করিয়া তাহার বক্রতা কেন্দ্রে (Centre of Curvature) একটি প্লাটি-নামের তার রাখা হয়। ক্যাথোড রশ্মি সৃষ্টি করিলে প্লাটিনামের তারটি উত্তপ্ত হইয়া আলো দিতে থাকিবে। ক্যাথোড রশ্মির শক্তিই তাপে রূপান্তরিত হয়।

(v) ক্যাথোড রশ্মি প্রতিপ্রভা (flourescence) সৃষ্টি করে। যে দেওয়ালে উহা আহত হয়, সেই দেওয়াল উজ্জ্বল হইয়া উঠে।

7.6. **একৃস্-রশ্মি (X-Rays) ঃ** ব্যাভেরিয়ার উর্ট্জ্বার্গের অধ্যাপক রয়ণ্টগেন (Roentgen) 1895 খৃষ্টাব্দে ক্যাথোড রশ্মি লইয়া গবেষণা করিতে করিতে একৃস্-রশ্মি আবিষ্কার করেন।

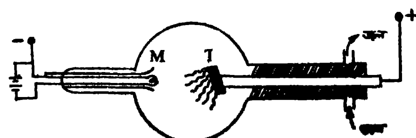

7·10

ক্যাথোড রশ্মি যখন কোন কঠিন বস্তুতে আঘাত করে, তখন উহা হইতে চারিদিকে অতি হ্রস্ব তরংগ দৈর্ঘের (প্রায় 1 A.U.) রশ্মি নির্গত হয়। এই রশ্মিকে একৃস্-রশ্মি বলে।



7 11

সাধারণ একৃস্-রে যন্ত্র



7·12

কুলিজ্ টিউব

সাধারণ একৃস্-রে যন্ত্রের গঠন 7·10 ও 7·11 নং চিত্রে দেখা যাইবে। এই যন্ত্রে ক্যাথোডটি (C) অবতল হয় ও ক্যাথোড ও অ্যানোড A_1 একই রেখায় থাকে না। ক্যাথোডের বক্রতা কেন্দ্রে কোন উচ্চ গলনাংকের (যেমন প্ল্যাটিনাম) ধাতুর আন্টি-ক্যাথোড (Anticathod) বা লক্ষ্য (target) A_2 রাখা হয়। অ্যান্টি-ক্যাথোডের বিভব অ্যানোডের সমান হয়। ক্যাথোড রশ্মি অ্যান্টি-ক্যাথোডে আঘাত করিয়া একস্-রশ্মি নির্গত করে।

কুলিজ্ টিউব (Coolidge Tube) একটি উন্নত ধরণের একৃস্-রে যন্ত্র। ইহার ক্যাথোডটি একটি তারের কুণ্ডলী, ইহার মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত করিয়া

ইহাকে উত্তপ্ত করিলে ইহা ইলেকট্রন ছাড়ে। এই কুণ্ডলীকে একটি মুখখোলা মলিবডেনাম চোঙের (M) মধ্যে ভরিয়া রাখা হয়। মলিবডেনাম চোঙটি ক্যাথোডের সংগে একই নেগেটিভ বিভবে থাকায় ইহা নির্গত ইলেকট্রনকে বিকর্ষণ করিয়া একটি ক্ষীণ রশ্মিতে পরিণত করে। এই রশ্মি একটি টাংষ্টেনের অ্যানোডের (T) একটি বিন্দুতে আঘাত করিয়া এক্স্-রে সৃষ্টি করে। টাংষ্টেনের অ্যানোডকে জলের সাহায্যে ঠাণ্ডা রাখা হয়। এই যন্ত্রের বিশেষত্ব এই যে ইহাতে গ্যাসের চাপ খুব নামানো যায়, অথচ কম বিভব-বৈষম্যে ইহা কাজ করে। ইহার গ্যাসের চাপ 1/10000 মিমি. হয়; এই চাপে সাধারণ এক্স্-রে যন্ত্র কাজ করিত না।

এক্স্-রের ধর্ম: (i) এক্স্-রশ্মি অতি ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট তরংগ; ইহার দৈর্ঘ 1 A.U. বা তাহার নীচে হয়। অর্থাৎ এক্স্-রের তরংগ আলোকের তরংগের কয়েক হাজার ভাগের এক ভাগ মাত্র দীর্ঘ। আলোকের



7·13 হাতের এক্স-রে চিত্র

মত এক্স্-রে রশ্মিরও প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার প্রভৃতি হয়, তবে সাধারণ দর্পণ প্রভৃতির দ্বারা নয়, কেলাস দ্বারা।

(ii) ক্ষুদ্র তরংগ-দৈর্ঘের জন্য এক্স্-রশ্মি আলোকের নিকট অস্বচ্ছ এমন অনেক বস্তুকে ভেদ করিতে পারে। মাংস, কাগজ, পাতলা ধাতুর টুকরা কাঠ প্রভৃতি এক্স্-রশ্মির নিকট স্বচ্ছ। সেজন্য দেহের অভ্যন্তরের ফোটো তুলিবার জন্য এক্স্-রে ব্যবহৃত হয়।

(iii) এক্স্-রে ফোটোগ্রাফিক কাগজের উপর ক্রিয়া করে।

(iv) এক্স্-রশ্মি যে গ্যাসের ভিতর দিয়া যায় তাহাকে আয়ণিত করিতে পারে।

7.7. রেডিও-অ্যাক্টিভিটি (Radio-activity): 1894 খৃষ্টাব্দে প্যারিসের হেনরি বেকেরেল লক্ষ্য করেন যে ইউরেনিয়াম-ঘটিত লবণকে

কালো কাগজে মুড়িয়া রাখিলেও ইহা ফোটোগ্রাফিক কাগজের উপরে ক্রিয়া করে। পরে থোরিয়াম, রেডিয়াম ও পোলোনিয়াম ধাতুর মধ্যেও এই গুণ পাওয়া যায়। 1902 খৃষ্টাব্দে রাদারফোর্ড ও সডিড রেডিও-অ্যাকৃটিভ বিযোজনের তত্ত্ব (Radio-active Disintegration) প্রকাশ করেন। ইহাতে বলা হয়, এই সমস্ত পরমাণুর কেন্দ্রীণের (Nucleus) একটি অংশ ভাঙিয়া বাহির হইয়া আসে। যে অংশ বাহির হইয়া আসে, তাহার দুইটি প্রকৃতি হইতে পারে, প্রথম, ইহা একটি আয়ণিত হিলিয়াম পরমাণু হইতে পারে, তখন ইহাকে আলফা কণা (Alpha particle) বলে, অথবা ইহা একটি ইলেকট্রন বা ইলেকট্রনের সমান ভর বিশিষ্ট ধনাত্মক কণা (Positron) হইতে পারে, তখন ইহাকে বিটা কণা (Beta particle) বলে। এছাড়া কখনও কখনও অতি হ্রস্ব তরংগের আকারে শক্তি নির্গত হইতে পারে, তখন ইহাকে গামা রশ্মি (Gamma Rays) বলে। অনেক সময়ে রেডিও অ্যাকটিভ পরমাণু নিউট্রন কণা নির্গত করে। রেডিও অ্যাকটিভ বিযোজনের দ্বারা একটি পরমাণু আর একটি পরমাণুতে পরিণত হয় ; যেমন 238 পরমাণবিক ভর বিশিষ্ট ইউরেনিয়াম আলফা কণা নির্গত করিয়া 234 ভর বিশিষ্ট থোরিয়াম হয়। এই সমস্ত কণা বা রশ্মির বিভিন্ন পদার্থ ভেদ করিবার ক্ষমতা আছে।

7.8. **পরমাণবিক বোমা (Atomic Bomb)** ঃ উপরে বর্ণিত বিযোজন ছাড়া আর এক প্রকারের বিযোজন সম্ভব। 235 পরমাণবিক ভর বিশিষ্ট ইউরেনিয়ামের কেন্দ্রীণে নিউট্রন ঢুকাইলে ইউরেনিয়ামের যে বিযোজন হয় তাহাতে প্রায় অর্ধেক পরমাণবিক ভর বিশিষ্ট দুইটি পরমাণুর সৃষ্টি হয়, যেমন হয়তো 95 পরমাণবিক ভরের মলিবডেনাম ও 139 পরমাণবিক ভরের লান্থানাম (Lanthanum) হয় এবং এক বা একাধিক নিউট্রন বাহির হয়। এই রকম যে বিযোজন, অর্থাৎ যেখানে পরমাণু ভাঙিয়া প্রায় অর্ধেক ভরের দুইটি পরমাণুতে পরিণত হয়, তাহাকে কেন্দ্রীণের বিভাজন (Nuclear Fission) বলে। উপরের বিভাজনের বেলায় অংক কষিয়া দেখা যায় যে বিভাজনের পূর্বে ইউরেনিয়াম ও নিউট্রনের মোট ভর যত, তাহার অপেক্ষা বিভাজনের পরে যে সমস্ত বস্তু পাওয়া যায় তাহাদের মোট ভর কম। এই যে ভরের হানি, এই ভরটুকু শক্তিতে পরিণত হয়। দেখা যায়, m গ্রাম ভর নষ্ট হইলে mc^2 (c = শূন্যে আলোকের বেগ, অর্থাৎ 3×10^{10} সেমি./সে.) আর্গ শক্তি পাওয়া যায়।

যদি ইউরেনিয়ামের একটি বড় স্তূপ নেওয়া যায়, তবে একটি ইউরেনিয়ামের বিভাজনের ফলে প্রাপ্ত একাধিক নিউট্রন নূতন নূতন ইউরেনিয়াম পরমাণুতে আঘাত করিয়া উহাদের বিভাজন করায়, ও ফলে আরও অধিক সংখ্যক নিউট্রনের সৃষ্টি হয়, এবং ইহারা আরও বেশী সংখ্যক ইউরেনিয়াম পরমাণুকে বিভাজন করায়। এই ভাবে এক সেকেণ্ডের কয়েক লক্ষ ভাগের এক ভাগ সময়ের মধ্যে গোটা স্তূপটী ভাঙিয়া গিয়া বিরাট শক্তি নির্গত হয়। এই শক্তিই অ্যাটম বোমায় ব্যবহার করা হয়।

প্রকৃত অ্যাটম বোমায় ইউরেনিয়াম (235 পরমাণবিক ভার) এর কয়েকটি থাকে। ইহারা প্রত্যেকে যে নিউট্রন নির্গত করে, তাহা স্তূপ হইতে ছোট ছোট স্তূপ বাহির হইয়া যাইতে থাকে বলিয়া, প্রত্যেক স্তূপে বিযোজন চলিতে থাকে, কিন্তু বিভাজন হয় না। বিস্ফোরণের মুহূর্তে যান্ত্রিক উপায়ে এই সমস্ত স্তূপগুলিকে মিশাইয়া বড় স্তূপ করা হয়, ফলে বিভাজন হয়। এই বোমার মধ্যে অনেকটা ইউরেনিয়াম 238 থাকে, ইউরেনিয়াম 235-এর বিভাজনের ফলে নির্গত নিউট্রন কণা ইউরেনিয়াম 238-এর বিভাজন ঘটায়। ইউরেনিয়াম-238 ব্যবহারের কারণ আর কিছুই না, ইহাই স্বাভাবিক ভাবে পাওয়া যায়, আর ইউরেনিয়াম 235 স্বাভাবিক অবস্থায় এত কম থাকে যে ইহার একটি বিভাজ্য স্তূপ তৈয়ারী করিবার ব্যয় অনেক।

7.9. কেন্দ্রীণের সংযোজন (Nuclear Fusion) ঃ কেন্দ্রীণের বিযোজন বা বিভাজনের ঠিক বিপরীত একটি ঘটনা ঘটে, ইহাতে একাধিক লঘু কেন্দ্রীণ বিশেষ অবস্থায় পরস্পর যুক্ত হইয়া একটি গুরুতর কেন্দ্রীণ গঠন করে। এইভাবে চারিটি হাইড্রোজেনের কেন্দ্রীণ, অর্থাৎ প্রোটন, উচ্চ তাপমাত্রায় সংযুক্ত হইয়া একটি হিলিয়াম পরমাণু গঠন করে। হিসাবে দেখা দেখা যায় যে চারিটি প্রোটনের সম্মিলিত ভর একটি হিলিয়ামের ভর অপেক্ষা বেশি। অতএব এই বিক্রিয়ার ফলে কিছুটা ভর নষ্ট হইয়া শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

আমেরিকান বিজ্ঞানী বেথের (Bethe) মতে এই উপায়ই সূর্যের শক্তির উৎস। সেখানে কার্বন পরমাণু catalyst হিসাবে কাজ করিয়া হাইড্রোজেনকে হিলিয়ামে রূপান্তরিত করিতেছে ও শক্তি নির্গত করিতেছে।

হাইড্রোজেন বোমার শক্তির উৎসও কেন্দ্রীণের সংযোজন। সেখানে দুইটি ড্যয়টেরিয়াম (Deuterium অর্থাৎ 2 পরমাণু ভর বিশিষ্ট হাইড্রোজেন)

বা একটি হাইড্রোজেন ও একটি ট্রাইটিয়াম (Tritium অর্থাৎ 3 পরমাণু ভর বিশিষ্ট হাইড্রোজেন) সংযুক্ত হইয়া হিলিয়াম গঠন করে ও শক্তি নির্গত করে।

7.10. **মহাজাগতিক বা কস্‌মিক রশ্মি (Cosmic Rays) :**

রেডিও-অ্যাকটিভ বস্তু হইতে নির্গত কণা বা রশ্মি ছাড়াও, পৃথিবীর আকাশে সর্বদাই অতি ক্ষুদ্র তরংগ-দৈর্ঘ্যের রশ্মি পাওয়া যায়। এই রশ্মির বিভেদী (penetrating) ক্ষমতা এত বেশী যে সমুদ্রের জলের নীচেও ইহাদের পাওয়া যায়। ইহারা পৃথিবীর বাহির হইতে আসে বলিয়া ইহাদের মহাজাগতিক রশ্মি বলে। এই মহাজাগতিক রশ্মি অনেক সময়েই ভরে পরিণত হয় ; তখন ইহাদের **মেসন কণা** (Meson) বলা হয়।

প্রশ্নমালা

1. একটি পরিষ্কার চিত্রের সাহায্যে একটি বৈদ্যুতিক ঘণ্টার কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও।

Describe in detail with neat sketches the working of an electric bell. (C.U. 1930, '43, '45, '51, '55, '57 ; Pat. 1940, '47 ; All. 1924 ; Utkal 1951)

2. একটি টেলিফোন গ্রাহক যন্ত্র ও মাইক্রোফোনের চিত্রসহযোগে বর্ণনা দাও। টেলিফোন বর্তনীর ছবি দাও।

Describe, with the help of a diagram a telephone receiver and a microphone. Give the diagram of a simple Telephone circuit. (C.U. 1928, '30, 1941, '52 ; Pat. 1944)

3. বৈদ্যুতিক টেলিগ্রাফের বর্ণনা দাও।

Describe the action of electric telegraph.

(C.U. 1930 ; Pat. 1947)

4. একটি লম্বা ও দুইটি তড়িৎদ্বারযুক্ত কাচের নলকে একটি বায়ু-শোধক পাম্পের সহিত যুক্ত করা হইয়াছে ও উহার দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্য প্রয়োগ করা হইয়াছে। নলটি হইতে বাতাস বাহির করিয়া লইতে থাকিলে কি দেখিবে ?

A long discharge tube connected with a high vacuum pump has voltage difference applied to is terminals. Describe the phemomena observed in the tube when the air in it is grudually exhausted. (C.U. 1945, '54 ; cf. 1950 ; P.U. 1945)

5. ক্যাথোড রশ্মি ও এক্স্‌-রশ্মি কি? ইহাদের কেমন ভাবে সৃষ্টি করা যায়? ইহাদের প্রকৃতি কিরূপ?

What are Cathode rays and X-rays? How can they be produced? What are their properties? (C.U. 1949)

6. ক্যাথোড রশ্মি কি ও কিভাবে ইহা সৃষ্টি করা যায়? ইহার প্রকৃতি নির্ণয়-করিবার জন্য কয়েকটি পরীক্ষার বর্ণনা কর।

What are cathode rays how can they be produced? Describe some experiments to demonstrate their properties.

(C.U. 1954, '57 ; Lucknow 1951)

7. একটি এক্স্‌-রে বাল্‌বের বর্ণনা ও কার্য প্রণালী লিখ। এক্স্‌-রে'র কতকগুলি বিশেষত্বের নাম কর।

Describe an X-ray bulb and its working. Mention some properties of X-rays. (C.U. 1953, '56, '57 ; P. U. 1944, '49,' 53 ; Lucknow, 1952, '53, '54).

8. সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও—

(i) বৈদ্যুতিক ঘণ্টা

(ii) টেলিফোন গ্রাহক যন্ত্র

(iii) মাইক্রোফোন

(iv) বৈদ্যুতিক টেলিগ্রাফ

(v) ক্যাথোড রশ্মি

(vi) এক্স্‌-রশ্মি।

Wite short notes on—

(i) Electric bell. (C. U. 1951, '56, '57)

(ii) Telephone receiver. (C.U. 1955)

(iii) Microphone. (C.U. 1955, '57)

(iv) Electric Telegraph. (C.U. 1556)

(v) Cathode Rays. (C.U. 1967)

(vi) X-rays. (C.U. 1957)

শব্দ-বিজ্ঞান

প্রথম পরিচ্ছেদ

শব্দের উৎপত্তি ও সঞ্চালন

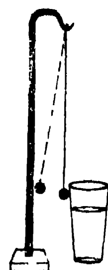
(Production & Propagation of Sound)

1.1. শব্দ কি ? (What is Sound)—শক্তির বিশেষ একটি রূপ শব্দ। আমরা চোখ দিয়া দেখি, আর কান দিয়া শুনি। প্রকৃতি আমাদের দেহকে যে সমস্ত ইন্দ্রিয় দিয়া সাজাইয়াছে, তাহাদের মধ্যে বিভিন্ন ইন্দ্রিয়ের কাজ বিভিন্ন রকম। কোন উৎস হইতে যে শক্তি বাহির হয়, তাহা আমরা ইন্দ্রিয়ের সাহায্যে অনুভব করিয়া উৎসটির অবস্থান, প্রকৃতি ইত্যাদি বুঝিতে পারি। আলোক-শক্তি আমাদের চোখে সাড়া জাগায়, তাপশক্তি দেহের ত্বকে অনুভূতি আনে। তেমনই শব্দ আমাদের কান দিয়া গৃহীত হইয়া মস্তিষ্কে বিশেষ প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি করে, এবং তখনই আমরা শুনিতে পাই। অর্থাৎ শব্দও এক বিশেষ ধরণের শক্তি মাত্র।

1.2. শব্দের উৎপত্তি (Production of Sound) :

তোমার স্কুলের ঘণ্টা যখন বাজিতেছে, তখন তাহার গায়ে সাবধানে আঙুল ছোঁয়াও, দেখিবে ঘণ্টাটি কাঁপিতেছে ; তুমি গলা দিয়া শব্দ করিবার সময়ে গলার সামনের দিকে আঙুল স্পর্শ করিলে কম্পন অনুভব করিবে।

পরীক্ষা : একটি চওড়া মুখওয়ালা কাচের গ্লাসে প্রায় পূর্ণমাত্রায় জল নাও। ইহার কাছে একটি ছোট শোলার বল বা পিথ-বল সুতার সাহায্য ষ্ট্যাণ্ড হইতে ঝুলাইয়া দাও, যেন বলটি গ্লাসের গায়ে লাগিয়া থাকে। একটি বেহালার ছড় দিয়া গ্লাসের মুখে টান দিলে শব্দ সৃষ্টি হইবে। দেখিবে গ্লাসের জলে তরংগ দেখা গিয়াছে ; শোলার বলটি বারবার গ্লাসের গায়ে ধাক্কা খাইয়া দূরে যাইবে, ফিরিয়া আসিয়া আবার ধাক্কা খাইবে, ও ফলে নাচিতে থাকিবে।



1·1

সুতরাং, বুঝিতে পারা যায় যে কোন বস্তু যখন কাঁপিতে থাকে তখন উহা শব্দ সৃষ্টি করে। যে বস্তু শব্দ উৎপন্ন করে তাহাকে শব্দের উৎস (Source of sound) বা স্বনক (Sonorous or Sounding body) বলে।

কোন বস্তু কাঁপিলেই কিন্তু শব্দের উৎপত্তি হইল না। কম্পনের সাহায্যে স্বনক যে শক্তি ব্যয় করে, সেই শক্তিকে বহিয়া লইয়া যাইবার জন্য কোন **মাধ্যম**, এবং সেই শক্তিকে শব্দরূপে গ্রহণ করিবার জন্য কোন গ্রাহক থাকিতে হইবে। আমাদের চারিদিকে যদি বাতাস না থাকিত, তবে আমরা শব্দ শুনিতে পারিতাম না (অবশ্য তোমরা বলিবে, তখন তো বাঁচিতেই পারিতাম না)।

1.3. কম্পন-হার (Frequency) বা কম্পাংক :

সংজ্ঞা : কোন কম্পমান বস্তু প্রতি সেকেণ্ডে যতবার কম্পন করে, তাহাকে ঐ বস্তুর কম্পন-হার বলে। কোন বস্তুর কম্পন-হার প্রতি সেকেণ্ডে 100 বা 100/সেকেণ্ডে বলিতে বুঝি বস্তুটি সেকেণ্ডে 100 বার কম্পন করিতেছে।

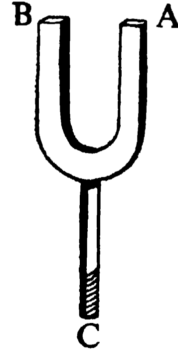
কোন স্বনক যখন শব্দ সৃষ্টি করে তখন স্বনকের কম্পন-হারকে আমরা উহার শব্দের কম্পন-হারও বলি।

স্বনকের কম্পন-হার একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে থাকিলে তবেই আমরা শব্দ শুনিতে পারি। সাধারণতঃ সেকেণ্ডে 20 হইতে 20,000 পর্যন্ত কম্পন-হার আমরা কানে উপলব্ধি করিতে পারি। অবশ্য এই সীমানা শ্রোতার কান ও শব্দের তীক্ষ্ণতার (intensity) উপর নির্ভর করে। 20,000/সেকেণ্ড অপেক্ষা উচ্চ কম্পন-হারে কোন স্বনক যখন কাঁপে, তখন উহা হইতে যে শব্দ বাহির হয় তাহা আমরা কানে ধরিতে পারি না। এই শব্দ-তরংগকে সে জন্য শব্দোত্তর তরংগ (ultra-sonic বা super-sonic waves) বলা হয়। আজকাল শব্দোত্তর তরংগের প্রচুর ব্যবহারিক প্রয়োগ হইতেছে। তোমরা দেখিয়াছ যে অন্ধকার ঘরের মধ্যে চামচিকা এধার ওধার ঘুরিয়া বেড়ায় কিন্তু দেওয়ালে ধাক্কা খায় না। ইহার কারণ হইল চামচিকা মুখ দিয়া শব্দোত্তর তরংগ বাহির করে। এই তরংগ দেওয়াল হইতে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসিলে চামচিকা উহা শুনিতে পায় ও দেওয়ালের দূরত্ব কতটা বুঝিতে পারে।

1.4. বীক্ষণাগারে ব্যবহৃত শব্দ-উৎপাদক যন্ত্র (Sound-instruments used in laboratories) : গ্লাসে ছড় টানিয়া বা ঘণ্টা বাজাইয়া শব্দের সৃষ্টি করা যায়, এমনকি তুমি যখন কথা বল তখনও তো শব্দ কর। কিন্তু শব্দ-বিজ্ঞান সম্বন্ধে পরীক্ষার জন্য এইরূপ স্বনকের ব্যবহার চলে না। ইহার বিভিন্ন কারণের মধ্যে একটি হইল এই যে, এইগুলি হইতে যে শব্দ বাহির হয়

তাহাতে বিভিন্ন কম্পাংকের শব্দ মিশানো থাকে। সেজন্য এমন স্বনকের প্রয়োজন যাহা একটি নির্দিষ্ট কম্পাংকে কম্পন করে ও নির্দিষ্ট প্রকৃতির শব্দ সৃষ্টি করে। সেজন্য নিম্নলিখিত দুটি যন্ত্রের সমধিক ব্যবহার হয়।

(a) **স্বরশলাকা (tuning fork)**—এই যন্ত্রটিকে একবার কম্পন করাইলে উহা এক নির্দিষ্ট হারে অনেকক্ষণ কম্পন করে ও শব্দ সৃষ্টি করিতে থাকে। ফলে একবার বাজাইলে উহা দিয়া অনেকক্ষণ ধরিয়া পরীক্ষা করা চলে। অনেকক্ষণ অর্থে কিন্তু আধ বা এক মিনিট মাত্র বুঝিবে, আধ বা এক ঘণ্টা নহে।

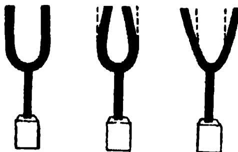


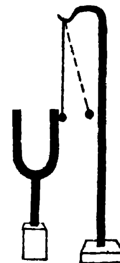
1·2
স্বরশলাকা

যন্ত্রটি ইস্পাত বা অ্যালুমিনিয়াম নির্মিত একটি হাড়িকাঠের মতো। ইহার A ও B দুইটি আয়ত প্রস্থচ্ছেদ-বিশিষ্ট সমান্তরাল বাহু থাকে, ইহারাই কম্পিত হইতে থাকে। C যন্ত্রটির বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদের হাতল। হাতলের নীচের দিকটা অনেক সময়ে প্যাঁচ কাটা থাকে, যাহাতে উহা কোন বাক্স প্রভৃতির উপরে প্যাঁচ কষিয়া বসানো যায়।

ভর অনুসারে স্বরশলাকা বিভিন্ন কম্পাংকের হয়। তবে সাধারণত উহাদের নিম্নলিখিত কম্পাংক-বিশিষ্ট করা হয়—প্রতি সেকেণ্ডে 256, 288, 320, 341·3, 384, 426·6, 480, 512।

একটি রবার বা ফেল্টের টুকরায় আঘাত করিয়া স্বরশলাকাকে কম্পন করানো হয়। কম্পমান স্বরশলাকার বাহুদুটি কিরূপে কম্পন করে তাহা


1·3
স্বরশলাকার কম্পন

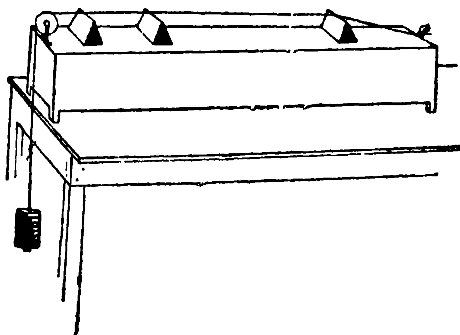

1·4

1·3 নং চিত্র হইতে বুঝিতে পারিবে। কানের কাছে ধরিলে উহা হইতে

শব্দ বাহির হইতেছে শুনিবে। টেবিলের উপর উহার হাতল বসাইলে শব্দ জোরালো হইবে ও দূর হইতে শোনা যাইবে।

পরীক্ষাঃ—একটি সুরশলাকার কম্পমান বাহুর কাছে একটি ঝুলন্ত শোলা বা পিথর-বল লইয়া আস। দেখিবে বলটি কেমন নাচিতেছে। (চিত্র নং 1·4)। সুরশলাকা হইতে সুন্দর সুরেলা শব্দও শুনিতে পারিবে। অতএব শব্দ সৃষ্টির সময়ে সুরশলাকা কাঁপে ইহা বুঝিতে পারিলে। সুরশলাকার শব্দের বিশেষত্ব এই যে ইহা হইতে অতিশয় বিশুদ্ধ সুর নির্গত হয়। তোমরা পরে বুঝিতে পারিবে যে ইহা হইতে নির্গত শব্দ বাতাসে অনুদৈর্ঘ্য তরংগ সৃষ্টি করিয়া অগ্রসর হয়।

(b) **সনোমিটার** (Sonometer)—শব্দ-বিজ্ঞানের পরীক্ষার জন্য সনোমিটার আর-একটি বিশেষ প্রয়োজনীয় যন্ত্র। এই যন্ত্রে একটি ফাঁপা কাঠের বাক্সের উপরে টান টান করিয়া একটি বা দুইটি তার আটকানো থাকে। তারগুলি বাক্সের সহিত আগাগোড়া লাগিয়া না থাকিয়া কয়েকটি ক্ষুরধারের (knife-edge) উপর দিয়া বসানো থাকে। ইহাদের মধ্যে দুই



1·5
টেবিলের উপরে সনোমিটার

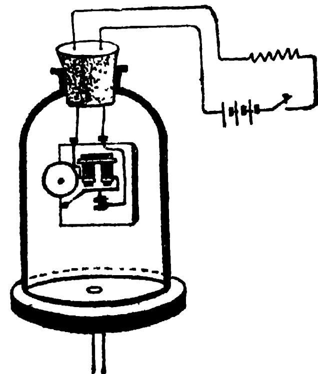
প্রান্তের দুটি ক্ষুরধার স্থির এবং মধ্যেরগুলি চলমান (movable)। তারের এক প্রান্ত বাক্সের প্রান্তে সংলগ্ন স্ক্রু-এর সহিত আটকানো থাকে ও অপর প্রান্ত বাক্সের গায়ে লাগানো পুলির উপর দিয়া ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। এই ঝুলন্ত প্রান্তে ভার ঝুলাইয়া তারের টান বাড়ানো কমানো যায়। তারকে আঙুলের সাহায্যে তির্যক দিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা বাজে, যেমন ভাবে গীটার বা সেতার বাজানো হয়।

তারের নীচের বাক্সটির বিশেষ উপযোগিতা আছে। তারটি এত সরু যে উহা কাঁপিলে বেশী পরিমাণ বাতাসকে কাঁপায় না, ফলে শব্দ জোরালো হয় না। কিন্তু উহা যে বাক্সটির সংস্পর্শে আছে, তাহাও তার হইতে শক্তি লাভ করিয়া কাঁপিতে থাকে, ফলে উহার মধ্যের বাতাস কাঁপিতে থাকে। এতটা বাতাসের কম্পনের ফলে শব্দের তীব্রতা বাড়ে।

1.5. শব্দের সঞ্চালনের জন্য বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন (A material medium is necessary for the propagation of sound): শব্দ শুনিতে হইলে উহা কম্পমান বস্তু হইতে শ্রোতার কানে পৌঁছানো দরকার। এজন্য স্বনক ও শ্রোতার মধ্যে কোন বস্তু মাধ্যমের প্রয়োজন হয়। আমাদের চারিদিকে যে বাতাস রহিয়াছে তাহা স্বনকের কম্পনশক্তিকে এক স্থান হইতে অন্যস্থানে বহিয়া লইয়া যায় বলিয়াই আমরা শব্দ শুনিতে পাই। বাতাস না থাকিলে আমরা শুনিতে পাইতাম না।

শব্দ-সঞ্চালনের জন্য বস্তু-মাধ্যমের প্রয়োজনীয়তার একটি সুন্দর প্রাকৃতিক উদাহরণ আছে। সূর্যে প্রতিনিয়ত যে বিস্ফোরণ চলিতেছে, তাহার শক্তিই আমরা আলোক, তাপ হিসাবে পাইতেছি। কিন্তু সূর্যের বিস্ফোরণের কোন শব্দই আমরা শুনিতে পাই না, কারণ সূর্য ও পৃথিবীর মধ্যবর্তী স্থান শূন্য। তাপ ও আলোক এই শূন্য বাহিয়া আসিতে পারে, কিন্তু শব্দ আসিতে পারে না।

একটি পরীক্ষা দ্বারা বীক্ষণাগারে শব্দ-সঞ্চালনের শব্দ-সঞ্চালনের জন্য মাধ্যমের প্রয়োজনীয়তা প্রমাণ করা যায়।



1·6
ঘণ্টা ও বেলজার পরীক্ষা

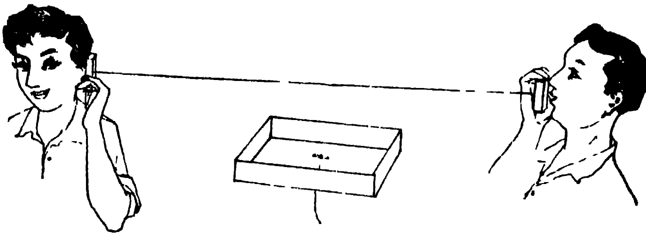
পরীক্ষা: একটি বেলজারের মধ্যে রবারের ছিপির সাহায্যে একটি বৈদ্যুতিক ঘণ্টা ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। বৈদ্যুতিক ঘণ্টার দুই প্রান্তে তার সংযোগ করিয়া তার দুটিকে রবারের ছিপির মধ্যের দুইটি ছিদ্র দিয়া বাহিরে আনা হয় ও ছিদ্র-দুটি বায়ুনিরুদ্ধ করিয়া গালা বা মোম দিয়া বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়। তারটি একটি তড়িৎ-

কোষ, রেওস্টাট ও চাবির সহিত সংযুক্ত করা হয়। ঘণ্টা-সমেত বেলজারটি এখন একটি বাত-পাম্পের প্লেটের উপর বায়ু-নিরুদ্ধ করিয়া বসানো হয়। ঘণ্টার মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহ চালাইলে ঘণ্টার শব্দ শোনা যাইবে।

এখন ক্রমে ক্রমে পাম্পের সাহায্যে বেলজারের মধ্যের বাতাস শুনিয়া লইলে ঘণ্টার শব্দ ক্ষীণতর হইতে থাকে। পরিশেষে ঘণ্টার শব্দ আর শোনা যায় না, যদিও চোখে দেখা যায় যে ঘণ্টাটি কাঁপিতেছে। (প্রকৃতপক্ষে শব্দ কোন-সময়েই সম্পূর্ণ বন্ধ হয় না, কারণ রবারের ছিপি ও কাচের কণার মাধ্যমে সামান্য শব্দ বাহিরে সঞ্চালিত হয়)। আবার বেলজারের মধ্যে ধীরে ধীরে বাতাস প্রবেশ করাইলে শব্দটি ক্রমে ক্রমে শ্রুতিগোচর হইবে।

1.6. শব্দ যে শুধু বাতাসের সাহায্যে সঞ্চালিত হয় তাহা নহে, ইহা যে-কোন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের সাহায্যেই চলিতে পারে।

পরীক্ষা : দুইটি দেশলাই-এর খালি পাত্র জোগাড় কর, উপরের ঢাকনার দরকার নাই। উহাদের তলদেশে খুব ছোট ছিদ্র করিয়া একটি সুতার



1·7

ঘরোয়া টেলিফোন

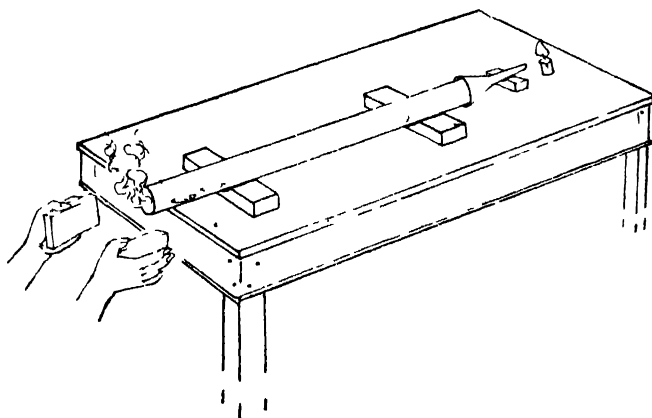
সাহায্যে উহাদের জোড়া দাও। এখন তুমি ও তোমার বন্ধু দুইটি দেশলাই হাতে পরস্পর হইতে দূরে দাঁড়াও যেন সুতাটি টান হয়। একজন একটি পাত্রে কথা বলিলে আর একজন সেই কথা শুনিতে পারিবে। এখানে সুতাটিই মাধ্যমের কাজ করে। কথা বলিবার সময়ে সুতাটিকে আঙুল দিয়া ছুঁইলে দেখিবে সুতাটি কাঁপিতেছে।

জলে ডুব দিয়া কথা বলিলে জলের বাহির হইতেও শোনা যায়।

1.7. **শব্দের সঞ্চালনের জন্য মাধ্যমের সরণের প্রয়োজন হয় না (Bodily displacement of medium is not necessary for the propagation of sound) :** আমরা যখন কথা বলি তখন আমাদের মুখের

সম্মুখবর্তী বাতাসে কম্পন সৃষ্টি হয়, সেই কম্পনের সাহায্যেই শ্রোতা আমাদের কথা শুনিতে পান। কিন্তু আমাদের মুখের সম্মুখের বাতাসটুকু নিজে গিয়া কানে শব্দ পৌঁছায় না, প্রকৃত-পক্ষে বাতাস শুধু কম্পনটুকু স্তর হইতে স্তর হইয়া শ্রোতার কানে পৌঁছাইয়া দেয়। একটি উদাহরণ হইতে ব্যাপারটি বুঝিতে পারিবে। সিনেমা-গৃহে তোমরা শুনিয়াছ, সিনেমার পাত্র-পাত্রীর কথা-বার্তা বা সংগীত ইত্যাদি অতিশয় উচ্চরবে হয়। লাউড স্পীকারের সামনের বাতাসকে যদি সেই শব্দকে ঘাড়ে করিয়া শ্রোতাদের কানে পৌঁছাইয়া দিতে হইত, তবে সিনেমা-হলে সর্বদাই প্রচণ্ড ঝড় বহিতে থাকিত।

পরীক্ষা : একটি প্রায় 6 ফুট দীর্ঘ ও 4-5 ই. ব্যাস-বিশিষ্ট দুই মুখ খোলা ধাতুর নল লওয়া হয়। (দুইটি 4 ফুট দীর্ঘ নল, যাহার একটি আর একটির মধ্যে অল্পবিস্তর ঢুকাইয়া দিয়া নল-দুটির মোট দৈর্ঘ্য কম বেশী করা যায়, পাওয়া



1·8

গেলে আরও ভাল হয়)। নলটিকে টেবিলের উপরে কাঠের শক্ত আলম্বের সাহায্যে শোয়ানো হয়। নলটির একমুখে একটি ফানেল আটকানো থাকে ও ফানেলের নলের মুখের কাছে একটি জলন্ত বাতি রাখা হয়। দুইটি ওয়াচ-গ্লাসের একটিতে ঘন হাইড্রোক্লোরিক এসিড ও অপরটিতে অ্যামোনিয়া লইয়া নলের অপর মুখে ঢুকাইয়া পাশাপাশি রাখা হয়। ফলে নলের এই মুখ দিয়া অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের শ্বেত-বর্ণের ধূম বাহির হইতে থাকে।

এখন দুইটি কাঠের টুকরা দুই হাতে ধরিয়া পরস্পরের গায়ে আঘাত করিয়া নলের খোলা মুখে শব্দ সৃষ্টি করা হয়। নলটির দৈর্ঘ্য ঠিকমত হইলে

দেখা যাইবে যে প্রতিবারে শব্দের সহিত নলের অপর প্রান্তে জ্বলন্ত বাতির শিখাটি উল্টা দিকে ঝাঁকিয়া যাইতেছে। বাতাসের কম্পন বাতির নিকট পৌঁছিতেছে বলিয়াই এইরূপ হইতেছে। কিন্তু আরও দেখা যাইবে যে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের ধূম নলের ঐমুখ দিয়া বাহির হইতেছে না। অতএব কাঠে কাঠে আঘাতে যে শব্দ সৃষ্টি হইতেছে, তাহা নলের খোলা মুখের বাতাসে কম্পন সৃষ্টি করিতেছে বটে, কিন্তু বাতাস নিজে সেই কম্পন বহন করিয়া নলের অপর মুখে যাইতেছে না, কারণ তাহা হইলে বাতাসের সহিত ধূমও যাইত।

1.8. শব্দের সঞ্চালন পদ্ধতি (Mode of propagation of sound): শব্দ যে মাধ্যমের সাহায্যে সঞ্চালিত হয়, সেই মাধ্যমে শব্দের সঞ্চালনের জন্য কোন গতি লাভ করে না। তাহা হইলে মাধ্যমে শব্দের সঞ্চালন কিভাবে হয়?

শব্দ উৎস হইতে শ্রোতার কানে পৌঁছিতে পারে চারটি উপায়ে—(i) শব্দ মাধ্যমের কণার দ্বারা বাহিত হইয়া চলিতে পারে। কিন্তু তোমরা উপরের পরীক্ষা হইতে বুঝিতে পারিয়াছ তাহা হয় না। (ii) শব্দের উৎস হইতে কতকগুলি কণা তীব্র-বেগে বাহির হইতে পারে ও তাহারাই শ্রোতার কানে ঢুকিয়া শব্দ সৃষ্টি করিতে পারে। কিন্তু শব্দ শূন্যের মধ্যে চলিতে পারে না, অতএব উৎস হইতে শব্দের কণার নিঃসরণ অবাস্তব। (iii) উৎস হইতে কতকগুলি রশ্মি বাহির হইতে পারে ও তাহার মধ্যে কয়েকটি শ্রোতার কানে ঢুকিতে পারে। কিন্তু এই রশ্মি এমন হওয়া দরকার যে ইহা কাচ বা কাঠের মত কঠিন বস্তুকে ভেদ করিবে, কিন্তু শূন্যকে ভেদ করিতে পারিবে না। এইরূপ বৈশিষ্ট্য সম্পন্ন কোন রশ্মির কথা চিন্তা করা সম্ভব কি? (iv) শব্দের শক্তি মাধ্যমে তরংগ-সঞ্চালনের সৃষ্টি করিতে পারে, ও এই তরংগ শব্দকে বহিয়া লইয়া যাইতে পারে। এই তরংগ-সঞ্চালনের সময়ে মাধ্যমের কণাগুলির সরণের প্রয়োজন হয় না। ইহারা কাঁপিয়া কাঁপিয়াই পাশের কণাকে শক্তি দিয়া দিতে পারে ও এইভাবেই শব্দ এক কণা হইতে অন্য কণায় যাইতে পারে। এই ভাবেই শব্দের সঞ্চালন সম্ভব।

প্রশ্নমালা

1. শব্দের উৎপত্তির কারণ কম্পন, ইহা পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ কর।

Describe experiments to prove that sound is due to vibrations. (C. U. 1936, 46 ; Pat. 1932, '33 ; H. S. 1960)

2. শব্দের সঞ্চালনের জন্য জড় মাধ্যমের প্রয়োজন—ইহা কিরূপে প্রমাণ করিবে ?

A material medium is necessary for the propagation of sound—how do you prove it ?

(C. U. 1934, '52 ; cf. 1953 ; H. S. 1960).

3. সূর্যে প্রতিনিয়ত যে বিস্ফোরণ চলিতেছে তাহার শব্দ পৃথিবীতে পৌঁছায় না কেন ?

Why is it that the sounds of the frequent explosions on Sun do not reach the Earth ?

4. শব্দ যে তরল ও কঠিনের মধ্য দিয়াও চলে তাহা কিরূপে প্রমাণ করিবে ?

How would you prove that sound is propagated through solids and liquids ?

5. শব্দের সঞ্চালনের সময়ে মাধ্যমের সরণের প্রয়োজন হয় না—প্রমাণ কর।

Prove that displacement of the medium is not necessary for propagating sound.

6. সুরশলাকা কি ? ইহা হইতে যে শব্দ বাহির হয় তাহার বিশেষত্ব কি ?

একটি সুরশলাকার শব্দকে অনেকের কাছে শোনানো যায় কিরূপে ?

(দ্বিতীয় অংশের পূর্ণাংগ উত্তর ও ব্যাখ্যা পঞ্চম পরিচ্ছেদে আছে)।

What is a tuning fork ? What is the special characteristic of the sound it emits ?

By what device can the sound of a tuning fork be made audible to a large audience ? (H. S. 1961)

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

তরংগ-গতি

(Wave-motion)

2.1. শব্দ মাধ্যমে তরংগ সৃষ্টি করিয়া চলে (Sound propagates by waves in a medium) :

পূর্বের পরিচ্ছেদে বলা হইয়াছে শব্দ বাতাসে তরংগ সৃষ্টি করিয়া অগ্রসর হয়। তরংগ কি তোমরা জান। পুকুরে তরংগ বা ঢেউ-এর সৃষ্টি তোমরা দেখিয়াছ; সমুদ্রের তরংগ-মালাও তোমাদের কেউ কেউ দেখিয়াছ, তাহার গর্জন শুনিয়াছ। বৈজ্ঞানিকেরা কল্পনা করেন যে শক্তি, অর্থাৎ তাপ, আলোক, শব্দ ইত্যাদিও মাধ্যমে তরংগ সৃষ্টি করিয়া চলে। অবশ্য এই তরংগের ধরণ বিভিন্ন রকমের হইতে পারে। জলে যে ঢেউ ওঠে তাহার প্রকৃতি বৈজ্ঞানিকের শক্তিবাহী তরংগ অপেক্ষা অনেক জটিল বলা চলে।

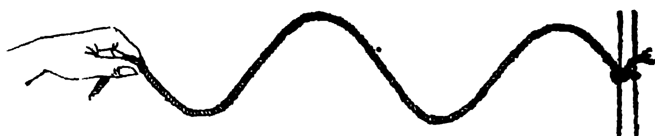
পদার্থ-বিজ্ঞানে যে তরংগের কল্পনা করা হয় তাহা দুই রকমের হইতে পারে, (a) তির্যক তরংগ (Transverse Waves), ও (b) অনুদৈর্ঘ্য তরংগ (Longitudinal Waves)। আলোক ও তাপ ঈথর (Ether) মাধ্যমে তির্যক তরংগ সৃষ্টি করিয়া অগ্রসর হয়, আর শব্দ অধিকাংশ সময়েই অনুদৈর্ঘ্য তরংগ সৃষ্টি করে।

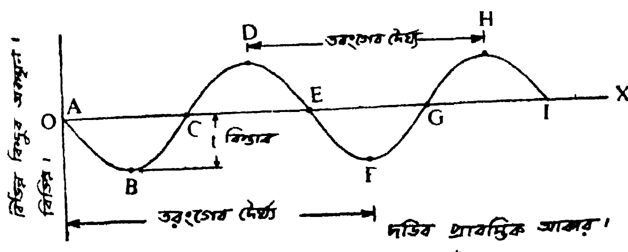
2.2. তির্যক তরংগ (Transverse waves) :

পরীক্ষা : একটি দড়ির এক প্রান্ত জানালার শিকের সঙ্গে বাঁধ। দড়ির অপর প্রান্ত হাতে ধরিয়া উপর-নীচ কর, দেখিবে দড়িটি ঢেউএর ন্যায় উঠানামা করিতে থাকিবে। দড়িটি যখন উঠানামা করিতেছে, তখন জানালার শিকে হাত দিলে কম্পন অনুভব করা যায়। অতএব হাত নাড়িয়া দড়িতে যে শক্তি সঞ্চার করা হইতেছে, তাহা গিয়া শিকে সঞ্চালিত হইতেছে।

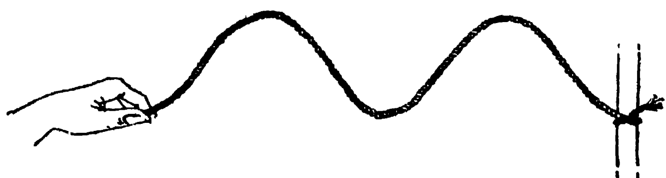
দড়ির উপরে কতকগুলি বিন্দু A, B, C, D, E....এর আন্দোলন লক্ষ্য কর। দেখিবে যে প্রতিটি বিন্দুই উপর নীচে আন্দোলিত হইতেছে। যে কোন মুহূর্তে বিন্দুগুলির অবস্থান দেখিলে আমরা ডান-দিকের চিত্রগুলির একটি

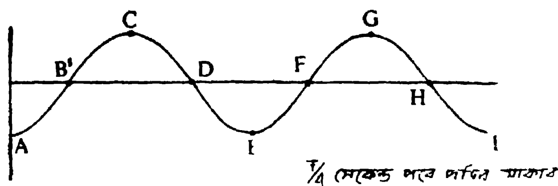
পাইব। এখানে হাত হইতে শক্তি যে দিকে সঞ্চালিত হইতেছে, দড়ির অণুগুলি তাহার সহিত তির্যক-ভাবে আন্দোলিত হইতেছে।





2·1 (i)





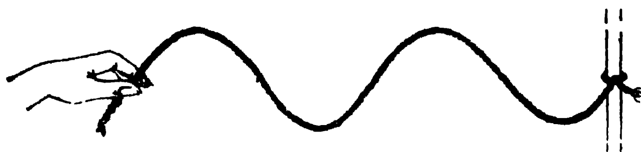
2·1 (ii)

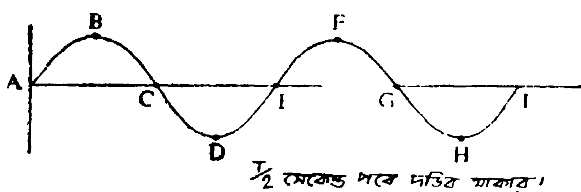
2·1 (i) নং চিত্রে দেখ, তরংগের A, C, E, G প্রভৃতি বিন্দুগুলির কোন সরণ হয় নাই। D, H বিন্দুগুলির ঊর্ধ্ব মুখে ও B, F বিন্দুগুলির নিম্নমুখে সরণ হইয়াছে।

2·1 (ii) নং চিত্রে, B, F, বিন্দুগুলি উপরে উঠিয়া গিয়াছে, D, H, বিন্দুগুলি নীচে নামিয়াছে।

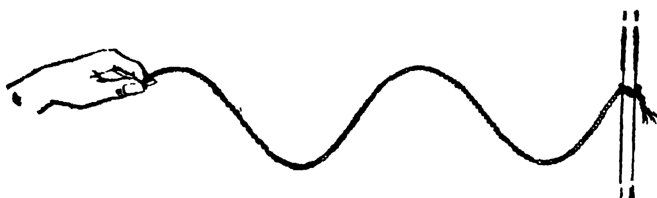
অন্য কোন এক সময়ে দড়িটির আকার 2'1, (iii), (iv), (v), (vi) এর ন্যায় হইবে। তখন বিভিন্ন বিন্দুগুলির অবস্থান কিরূপ হইবে দেখ।

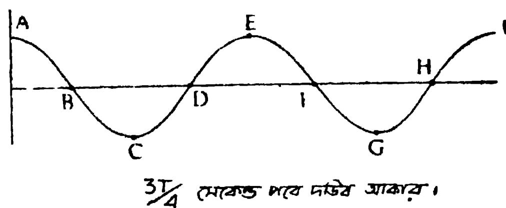
তাহা হইলে একটি নির্দিষ্ট অক্ষরেখার দুইপাশে বিন্দুগুলি আন্দোলিত হয়।





2'1 (iii)



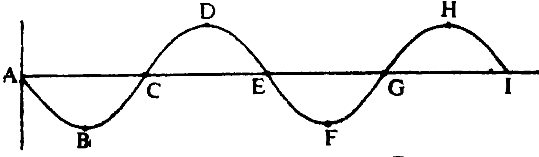


2'1 (iv)

সরল পর্য্যাবৃত্ত গতি (Simple Harmonic Motion): দড়ির বিন্দুগুলি নিজেদের স্বাভাবিক অবস্থান হইতে আন্দোলিত হইতেছে। এই আন্দোলনের কয়েকটি বিশেষ ধর্ম আছে ; এই প্রকৃতির যে কোন আন্দোলনকে সরল পর্যাবৃত্ত গতি বলা হয়।

দোলন (Oscillation) ও পর্যায়-কাল (Period) : 2·1(i) হইতে 2·1(iii) পর্যন্ত চিত্রগুলি লক্ষ্য করিলে দেখিবে, যে কোন অণু, মনে কর B, উহার নিম্নতম অবস্থান হইতে উর্ধ্বতম অবস্থানে গিয়া পূর্বের নিম্নতম অবস্থানে ফিরিল। আমরা বলিব যে B অণুর একটি দোলন সম্পূর্ণ হইল।

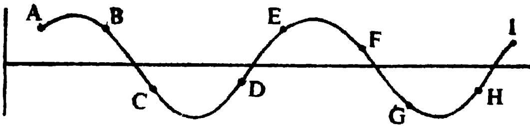




1 সেকেণ্ড পরে দড়ির অবস্থান।

2 1 (v)





কোন এক সময়ের দড়ির আকার।

2 1 (vi)

তরংগ-সঞ্চালনের পথে অর্থাৎ মাধ্যমের কোন অণু যখন কোন অবস্থান হইতে যাত্রা করিয়া একই অভিমুখে পূর্বের অবস্থানে ফেরে, তখন অণুটির একটি দোলন সম্পূর্ণ হয়।

একটি দোলন সংম্পূর্ণ করিতে তরংগের যে সময় লাগে তাহাকে দোলন-কাল বা পর্যায়-কাল বলে। এই সময়কে T দ্বারা সূচিত করা হয়। T-এর

একক **সেকেণ্ড**। শব্দ-তরংগের পর্যায় কাল এক সেকেণ্ডের কয়েক সহস্রাংশ হয়।

স্পন্দন-হার, কম্পন-হার বা কম্পাংক (Frequency) : কোন তরংগের অণুগুলি 1 সেকেণ্ডে যে কয়েকটি দোলন সম্পূর্ণ করে তাহাকে তরংগের কম্পাংক বলে। ইহাকে সাধারণতঃ n দ্বারা সূচিত করা হয়। শব্দ তরংগের কম্পাংক প্রতি সেকেণ্ডে 20 হইতে 20000 হইতে পারে।

পর্যায়-কাল ও কম্পাংকের সম্বন্ধ :

মনে কর কোন তরংগের পর্যায় কাল $\frac{1}{256}$ সেকেণ্ড। তাহা হইলে 1 সেকেণ্ডে মাধ্যমে অণুগুলি 256 বার কম্পন করে।

অতএব, কম্পাংক = $\frac{1}{\text{পর্যায়-কাল}}$,অর্থাৎ কম্পাংক × পর্য্যায়-কাল = 1

$$\therefore \quad n \times T = 1$$

দশা (Phase) : 2·1 (i) নং চিত্রে দেখ, তরংগ পথে B ও F বিন্দু একই মুহূর্তে ঊর্ধ্বতম অবস্থানে গেল, আর D ও H একই সংগে নিম্নতম বিন্দুতে গেল। বলা হয় যে B, F বিন্দু একই দশায় আছে।

সেইরূপ A, E, I একই দশায় ও C, G একই দশায় থাকে। আবার 2·1 (i) নং চিত্রে দেখ A. C, E, G, I সমস্ত বিন্দুরই সরণ শূন্য। সুতরাং মনে হইতে পারে ইহাদের একই দশা। কিন্তু 2·1 (ii) নং চিত্রেই ব্যাপারটি বুঝিতে পারা যায়। এই চিত্রে দেখিবে যে A, E, I নিম্নতম অবস্থানে ও C, G ঊর্ধ্বতম অবস্থানে আছে। অতএব A, E, I যে দশায়, G সে দশায় নাই।

তাহা হইলে, তরংগ-পথে যে সমস্ত বিন্দু কোন এক সময়ে একই অবস্থানে থাকে [যেমন চিত্র নং 2·1 (i)—এ A, C, E, G, I] তাহারা যে অন্য কোন মুহূর্তে একই দশায় থাকিবে তাহার কোন অর্থ নাই।

দশা বলিতে তরংগ-পথে কোন বিন্দুর অবস্থান ও ভবিষ্যৎ গতি কিংবা অবস্থা বুঝায়।

2·1 (i) নং চিত্রে B যে অবস্থানে আছে, 2·1 (ii) নং চিত্রে দেখ T/4 সেকেণ্ড পরে A সেই অবস্থা পাইবে। বলা হয় যে B বিন্দু A বিন্দু হইতে T/4 সেকেণ্ড পরিমাণ দশা আগাইয়া আছে, কিংবা B ও A এর মধ্যে দশার পার্থক্য হইল T/4 সেকেণ্ড।

সরণ (Displacement) ও বিস্তার (Amplitude) : দড়িটির যখন আন্দোলন হইতেছে না, তখন দড়ির সমস্ত বিন্দুই 2·1 (i) নং চিত্রের OX রেখায় অবস্থান করিবে। দড়ির স্পন্দন সুরু হইলেই বিন্দুগুলি এই রেখার দুই পার্শ্বে স্পন্দিত হইতে থাকে। স্থির অবস্থায় কোন বিন্দুর অবস্থানকে গড় অবস্থান বলে। তরংগ সৃষ্টি হইলে বিন্দুটি উহার গড় অবস্থানের দুইপার্শ্বে স্পন্দিত হইতে থাকে।

স্পন্দনের সময়ে কোন মুহূর্তে একটি বিন্দু তাহার গড় অবস্থান হইতে যতদূরে অবস্থান করে তাহাকে উহার সরণ বলে।

কোন বিন্দু স্পন্দনের সময় উহার গড় অবস্থান হইতে সর্বাধিক যতদূরে যাইতে পারে তাহাকে ঐ বিন্দুর দোলন-পথের বিস্তার বলে।

শীর্ষ (Crest) ও পাদ (Trough) : দড়ির ন্যায় যেখানে তির্যক তরংগ সৃষ্টি হয় সেখানে বিন্দুগুলি তরংগের পথের সহিত তির্যক ভাবে কম্পন করে। তাহার ফলে তরংগের কিছু অংশ অক্ষরেখার উপরে ওঠে ও কিছু অংশ নীচে নামিয়া যায়। এখানে তরংগের যে অংশ অক্ষরেখার উপরে ওঠে তাহাকে শীর্ষ ও নিম্নগামী অংশটিকে পাদ বলে। জলের মধ্যে ঢেউ উঠিলে তোমারা শীর্ষ ও পাদ দেখিয়াছ।

তরংগ-দৈর্ঘ্য (Wave-length) : কোন তরংগের মধ্যে একই দশা-বিশিষ্ট পাশাপাশি দুইটি বিন্দুর মধ্যের দূরত্বকে তরংগ-দৈর্ঘ্য বলে। 2·1 ((i) নং চিত্রে তরংগ-দৈর্ঘ্য কাহাকে বলে বুঝিতে পারিবে। তরংগ-দৈর্ঘ্যকে λ (লামডা-lambda) দ্বারা নির্দেশ করা হয়।

তির্যক তরংগে একটি তরংগ দৈর্ঘ্যের মধ্যে একটি শীর্ষ ও একটি পাদ থাকে ইহাও 2·1 (i) নং চিত্র হইতে বুঝিতে পারিবে।

তরংগ-বেগ (Velocity of waves) : তরংগ দ্বারা শক্তি সঞ্চালিত হয় ইহা বুঝিতে পারিয়াছ। আবার দড়ির কম্পনের সময়ে দেখিবে যে মনে হইবে ঢেউ-এর আকারটি হাত হইতে জানালার দিকে যাইতেছে। এই যে ঢেউ-এর আকারটি কিংবা মাধ্যমে সঞ্চিত শক্তি এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে যায়, প্রতি সেকেণ্ডে ইহার সরণকে তরংগ-বেগ বলে।

বাতাসে শব্দ-তরংগের বেগ সেকেণ্ডে প্রায় 332 মিটার ; শূন্যে আলোক-তরংগের বেগ প্রায় $2·9979 \times 10^{10}$ সেমি./সে, অর্থাৎ মোটা হিসাবে 3×10^{10} সেমি./সেকেণ্ড।

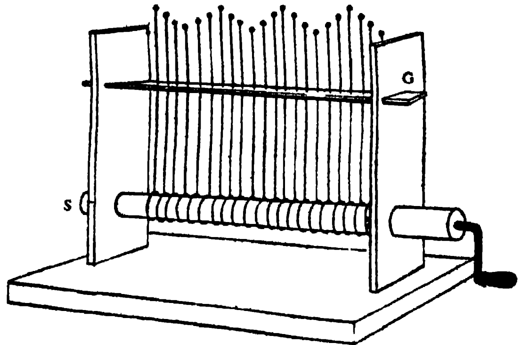
তরঙ্গ-বেগ, তরংগ-দৈর্ঘ্য ও স্পন্দন হারের সম্বন্ধ (Relation between velocity, wave-length and frequency) :

মনে কর কোন তরংগের বেগ সেকেণ্ডে c ও তরংগ দৈর্ঘ্য λ ও যে বস্তুর স্পন্দনে তরংগ সৃষ্টি হইতেছে তাহার স্পন্দন-হার n ।

স্বভাবতঃই মাধ্যমে 1 সেকেণ্ডে nটি তরংগ সৃষ্টি হইবে। তরংগগুলি পরপর মাধ্যমের ভিতর দিয়া অগ্রসর হইবে। বস্তুটি সর্বপ্রথম যে তরংগ সৃষ্টি করিবে তাহা 1 সেকেণ্ড পরে c দূরত্বে পৌঁছায়। এই এক সেকেণ্ডে বস্তুটি মোট যে nটি তরংগ সৃষ্টি করিল তাহারা স্বভাবতঃই এই c দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট স্থানের মধ্যে অবস্থান করিবে।

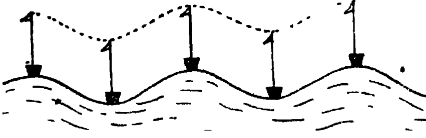
কিন্তু প্রতিটি তরংগের দৈর্ঘ্য λ অতএব n-টি তরংগের মোট দৈর্ঘ্য $= n\lambda$ । অতএব $n\lambda = c$ ।

2.3. বীক্ষণাগারে তির্যক তরংগের পরীক্ষা : (i) 2·2(a) নং চিত্রের ন্যায় একটি যন্ত্রের সাহায্যে পরীক্ষাগারে সুন্দরভাবে তির্যক তরংগের স্বভাব ও গঠন বুঝানো যায়। যন্ত্রটিকে কাঠের ফ্রেমে একটি অনুভূমিক শাফ্‌ট S হাতলের সাহায্যে ঘুরানো যায়। শাফটের গায়ে কতকগুলি আংটা আটকানো থাকে ও প্রতিটি আংটার সহিত নির্দিষ্ট স্থানে একটি করিয়া দণ্ড অস্থকেন্দ্রিক (eccentric) ভাবে লাগানো থাকে। দণ্ডগুলি পরিচালক ফ্রেম G-এর মধ্য ছিদ্র দিয়া যায় ও প্রতিটি দণ্ড আংটার ঘূর্ণনের সংগে সংগে কেবল মাত্র উল্লম্ব রেখায় উঠানামা করিতে পারে। (বাষ্প এঞ্জিনের পিষ্টন ও শাফ্‌টের গতি তুলনা করিয়া দেখ) দণ্ডগুলির মাথায় একটি করিয়া লোহার দানা (bead) আটকানো থাকে। হাতল ঘুরাইলে লোহার দানাগুলির অবস্থান পরিবর্তিত হইয়া তরংগর গতির ন্যায় দেখায়।



2·2 (a)

(ii) পাতলা কর্কের টুকরার উপরে খাড়া করিয়া হাল্কা কাঠি খাড়া করিয়া বসাইয়া ও কাঠির মাথা কাগজের টুকরা লাগাইয়া কয়েকটি নিশান তৈয়ারী কর। বড চৌবাচ্চার জলের উপরে নিশানগুলি সারবন্দী করিয়া ভাসাইয়া দাও। এখন জলের মধ্যে একপাশে একটি ঢিল ফেলিলে একটি দাপের (disturbance) সৃষ্টি হইবে ও এই দাপ বৃত্তাকারে চারিদিকে ছড়াইয়া পড়িবে। দেখা যাইবে যে এই দাপের চলনের সময়ে নিশানগুলি নাচিতে থাকিবে, কিন্তু উহাদের বিশেষ সরণ হইবে না। যে কোন মুহূর্তে নিশানগুলির মাথা যোগ করিলে একটি ঢেউ পাওয়া যাইবে [চিত্র নং 2·2(b)]।



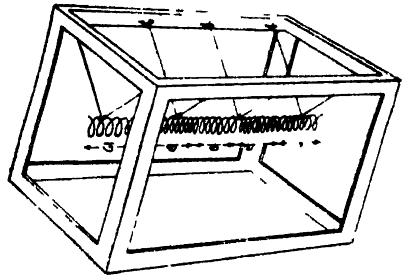
2·2 (b)

এখানে নিশানগুলির সরণ না থাকায় বুঝা যায় যে দাপের সঞ্চালনের সময়ে জলকণাগুলির অপসারণ হয় না, উহাদের উপর-নীচ দোলনের দ্বারাই দাপের সঞ্চালন সম্ভব হয়।

24. অনুদৈর্ঘ্য তরংগ (Longitude Waves):

স্প্রিং-এর তরংগ যন্ত্র (Spring Wave-apparatus) তামার বা লোহার তারের একটি নরম লম্বা স্প্রিং অনুভূমিক ভাবে একটি কাঠের ফ্রেমের মধ্যে সূতার সাহায্যে ঝোলানো থাকে (চিত্র নং 2·3)।

স্প্রিংটির এক প্রান্ত হাতে ধরিয়া দৈর্ঘ্যের অভিমুখেই একটু এদিক ওদিক দোলাইতে হয়। স্প্রিংটি যখন চাপের ফলে ভিতর দিকে যায়, তখন পাকগুলি সংকুচিত হইয়া যায় অর্থাৎ কাছাকাছি চলিয়া আসে। আবার স্প্রিংটি যখন বাহিরের দিকে যায়, তখন পাকগুলি প্রসারিত হয়, অথাৎ ফাঁক ফাঁক হইয়া যায়। দেখা যাইবে প্রান্তে সৃষ্ট সংকুচন ও প্রসারণ, কিংবা শব্দ বিজ্ঞানের ভাষায় ঘনীভবন (Compression) ও তনুভবন (Rarefaction) স্প্রিং বহিয়া আস্তে আস্তে অপর প্রান্তের দিকে চলিয়া যাইতেছে, অর্থাৎ প্রান্তের পাকগুলি



2·3

নিজেদের সংকুচনকে পরের পাকগুলিকে দিয়া দিতেছে, সেগুলি আবার পাশের পাকগুলিকে সংকুচিত করিতেছে; ঠিক তেমন ভাবেই প্রসারণও পাকগুলির স্তরে স্তরে বহিয়া যায়।

যদি স্প্রিং-এর প্রান্তটিকে এদিক-ওদিক দোলাইতে থাকা যায় তবে পর পর কতগুলি ঘনীভবন ও তনুভবন স্প্রিং-এর মধ্য দিয়া বহিয়া যাইতে থাকে। একটি ঘনীভূত স্তরকে একটি তরংগ বলে। এই তরংগ বহিয়া যাইবার সময়ে স্প্রিং-এর কোন পাকের গতি লক্ষ্য করিলে দেখা যাইবে যে তরংগ যে রেখায় বহিতেছে উহা সেই রেখায় এদিক ওদিক দুলিতেছে।

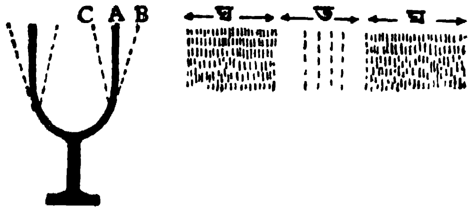
কোন মাধ্যমের ভিতর দিয়া শক্তি যদি এমন ভাবে প্রবাহিত হয় যে মাধ্যমের কণাগুলি প্রবাহের রেখায়ই এদিক ওদিক দুলিতে থাকে, তবে বলা হয় যে শক্তি মাধ্যমে অণুদৈর্ঘ্য তরংগ সৃষ্টি করিয়া চলিতেছে। অণুদৈর্ঘ্য তরংগের বৈশিষ্ট্য হইল যে ইহাতে মাধ্যমের কণাগুলি একবার ঘনীভূত ও পরের বার তনুভূত হয়।

তরংগ-দৈর্ঘ্য : একটি ঘনীভূত ও একটি তনুভূত স্তরের দৈর্ঘ্যকে তরংগ-দৈর্ঘ্য বলে।

2.5. **বাতাসে শব্দ কিভাবে সঞ্চালিত হয় (How is Sound propagated through air ?) :**

আমরা বাতাসে শব্দের সঞ্চালন-পদ্ধতি সম্বন্ধে আলোচনা করিব। যে কোন সরিল (fluid) মাধ্যমেই শব্দ একই ভাবে সঞ্চালিত হয়। শব্দের সঞ্চালনের জন্য মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক হওয়া প্রয়োজন।

মনে কর একটি সুরশলাকা (tuning fork) কাঁপিয়া শব্দ সৃষ্টি করিতেছে (2·4 নং চিত্র)। সুর শলাকার বাহুগুলি সমান্তরাল ভাবে কম্পন করিবে। উহার A বাহু একবার আগাইয়া B অবস্থানে ও আবার পিছাইয়া C অবস্থানে যাইতেছে। B অবস্থান হইতে C-তে গিয়া আবার B-তে ফিরিলে আমরা বলিব যে সুরশলাকার একটি স্পন্দন শেষ হইল।



2·4

সুরশলাকা যখন B অবস্থানে গেল, তখন উহা নিজের সম্মুখবর্তী বাতাসকে

ধাক্কা দিল। সুর শলাকার স্পন্দনের গতি এত বেশী যে এই ধাক্কার ফলে উহার সম্মুখের স্তরে যে উচ্চ-চাপের সৃষ্টি হইল তাহা পাস্কালের সূত্র অনুসারে তৎক্ষণাৎ ছড়াইয়া পড়িতে পারিল না। ফলে একটি উচ্চচাপ বা ঘনীভূত স্তরের সৃষ্টি হইল। সুরশলাকার বাহু যখন B হইতে C অবস্থানে গেল, তখন উহার সম্মুখে অনেকখানি স্থানের সৃষ্টি হইল। ইতিমধ্যে পূর্ব-সৃষ্ট উচ্চ-চাপের স্তরটি নিজের চাপ কমাইয়া দিতে চাহিল। হঠাৎ এতটা জায়গা পাওয়ায় সেই স্তর কেবল মাত্র পূর্বের বায়ুমণ্ডলীয় চাপে না ফিরিয়া সমস্ত জায়গাটি দখল করিল ও ফলে নিম্নচাপের স্তরে রূপান্তরিত হইল। নিজের উচ্চ-চাপ সে পাশের স্তরকে দিয়া দিল। পরমুহূর্তে আবার বাহু যখন C হইতে B-তে গেল, এই স্তরটির চাপ আবার উচ্চ হইয়া গেল। ইহার পার্শ্ববর্তী যে স্তরটি উচ্চ চাপ পাইয়াছিল সে স্বাভাবিক বায়ুচাপে ফিরিবার প্রয়াসে সেই উচ্চচাপ পরবর্তী স্তরে সঞ্চারিত করিল, এবং নিজে আগের স্তরটির নিম্নচাপ গ্রহণ করিল।

অতএব সুরশলাকার প্রতিটি স্পন্দনের সহিত বাতাসে একটি করিয়া উচ্চ-চাপ ও একটি নিম্নচাপের স্তরের বা একটি ঘনীভূত ও একটি তনুভূত স্তরের সৃষ্টি হয়। এই প্রতিটি স্তরের চাপ সৃষ্টির জন্য বাতাস সুরশলাকা হইতে শক্তি সংগ্রহ করে ও সেই শক্তি স্তর হইতে স্তরে বাহিত হইয়া শব্দরূপে সঞ্চালিত হয়। উচ্চ-চাপ স্তরের মধ্যস্থলে চাপ সর্বোচ্চ থাকে, উহার দুই পার্শ্বে চাপ ক্রমেই কম হয়। সেইরূপ নিম্নচাপের স্তরের মধ্যস্থলে চাপ সবনিম্ন হয়।

তোমরা বলিবে যে বাতাস চাপ সঞ্চালন সম্বন্ধীয় পাস্কালের সূত্র মানিল না এ কেমন কথা? সুরশলাকা এত দ্রুত স্পন্দন করে যে বাতাসে উচ্চ ও নিম্নচাপের সৃষ্টি অত্যন্ত ঘন ঘন হয়। কোন একটি উচ্চচাপ চারিপাশে সঞ্চালিত হইবার পূর্বেই একটি নিম্নচাপ ও আর একটি উচ্চচাপ আসিয়া পড়ে, ফলে বাতাসের স্তরটি নিজের চাপ চারিপাশে ছড়াইয়া দিবার সময় পায় না, পাশের স্তরকে দিয়া দেয়।

সুরশলাকা যদি সেকেণ্ডে n বার স্পন্দন করে, তবে বাতাসে এক সেকেণ্ডে n জোড়া ঘনীভূত ও অনুভূত স্তরের সৃষ্টি হয়। একটি ঘনীভবন ও একটি তনু-ভবন স্তরে মোট দৈর্ঘ্যকে তরংগ-দৈর্ঘ্য (wave length) বলা হয়।

সুরশলাকার প্রতিবার স্পন্দনের জন্য একটি করিয়া তরংগের সৃষ্টি হয়। অতএব 1 সেকেণ্ডে বাতাসে nটি তরংগের সৃষ্টি হয়। সুরশলাকার প্রতিটি স্পন্দনে যে তরংগের সৃষ্টি হয়, তাহা আগের তরংগটিকে সামনের দিকে ঠেলিয়া দিয়া নিজের জায়গা করে। সুতরাং সুরশলাকার nতম স্পন্দনের সময়ে

প্রথমে সৃষ্ট তরংগ অনেক দূর আগাইয়া যায়। 1 সেকেণ্ডে তরংগ যত দূর গেল তাহাকেই তরংগের বেগ c বলে।

প্রতিটি তরংগের দৈর্ঘ্য যদি λ হয়, তবে 1 সেকেণ্ডে সৃষ্ট nটি তরংগ মোট $n\lambda$ দৈর্ঘ্য দখল করে। অতএব $c = n\lambda$।

তাপমাত্রা ও জলীয় বাষ্পের পরিমাণ স্থির থাকিলে বাতাসে শব্দের বেগ স্থির থাকে, সুরশলাকার স্পন্দন হারের সহিত ইহার কোন সম্বন্ধ নাই। অতএব যে সুরশলাকার স্পন্দন হার অর্থাৎ n বেশী, স্বভাবতঃই তাহার সৃষ্ট শব্দ তরংগের দৈর্ঘ্য λ কম; আবার যে শলাকার স্পন্দন হার কম, তাহার সৃষ্ট শব্দ তরংগের দৈর্ঘ্য বেশী।

2. 6. অনুশীলনঃ

(a) একটি সুরশলাকা সেকেণ্ডে 320 বার স্পন্দন করে। উহা বাতাসে যে তরংগ সৃষ্টি করে তাহার দৈর্ঘ্য 1 মিটার। বাতাসে শব্দের বেগ কত ?

স্পন্দন হার $n = 320$/সেকেণ্ড ;

তরংগ দৈর্ঘ্য $\lambda = 1$ মিটার।

সুরশলাকা 1 সেকেণ্ডে মোট 320 টি তরংগ সৃষ্টি করিল, উহাদের প্রতিটির দৈর্ঘ্য 1 মিটার। সুতরাং এই তরংগগুলি মোট $320 \times 1 = 320$ মিটার দৈর্ঘ্য ব্যাপিয়া থাকে। প্রথম সৃষ্ট তরংগটি সুরশলাকা হইতে স্বাভাবিকভাবেই 320 মিটার দূরে থাকিবে।

অতএব তংরগের বেগ $c = n \times \lambda = 320 \times 1 = 320$ মিটার/সেকেণ্ড।

[শব্দের বেগকে সেমিতে প্রকাশ না করিয়া সাধারণতঃ মিটার/সে. বা ফু./সে. এককে প্রকাশ করা হয়]।

(b) কোন সুরশলাকার কম্পাংক 256। বাতাসের শব্দের বেগ 320 মি./সে হইলে এই সুরশলাকার সৃষ্ট শব্দের তরংগ-দৈর্ঘ্য কত ?

কম্পাংক $n = 256$/সে. ;

শব্দের বেগ $c = 320$ মি./সে :

তরংগ-দৈর্ঘ্য $\lambda = ?$

$c = n\lambda$

$$\lambda = \frac{c}{n} = \frac{320 \text{ মি./সে.}}{256 \text{ /সে.}} = 1{\cdot}25 \text{ মিটার}$$

দ্রষ্টব্য :—(a) ও (b) নং অনুশীলনের তুলনা করিয়া দেখ, (a) অনুশীলনে প্রদত্ত সুরশলাকার কম্পাংক বেশী বলিয়া তরংগ দৈর্ঘ্য ক্ষুদ্রতর।

(c) একটি স্বরশলাকা বাতাসে 62·5 সেমি. দৈর্ঘ্যের তরংগ সৃষ্টি করে। স্বরশলাকার স্পন্দন-হার কত ? (বাতাসে শব্দের বেগ = 320 মি./সে.)।

[শব্দের বেগ মিটারে দেওয়া আছে বলিয়া এই অনুশীলনে দৈর্ঘ্যকে মিটারে প্রকাশ করা উচিত]।

তরংগ দৈর্ঘ্য $\lambda = 62·5$ সেমি. $= 0·625$ মি ;

বেগ $c = 320$ মি./সে. ;

স্পন্দন-হার $n = ?$

$c = n\lambda$,

$\therefore \quad n = \frac{c}{\lambda} = \frac{320 \text{ মি./সে.}}{·625 \text{ মি.}} = 512$/সে.।

(d) বাতাসে শব্দের বেগ 1120 ফু./সে.। একটি স্বরশলাকা সেকেণ্ডে 288 বার স্পন্দন করিলে উহার সৃষ্ট তরংগের বাতাসে দৈর্ঘ্য কত ?

$c = 1120$ ফু./সে ;

$n = 288$ সে. ;

$\lambda = ?$

$\lambda = \frac{c}{n} = \frac{1120}{288} = 3\frac{8}{9}$ ফুট।

[এখানে উত্তরকে দশমিক ভগ্নাংশ অপেক্ষা সাধারণ ভগ্নাংশে প্রকাশ করাই সুবিধা জনক হইয়াছে]।

(e) একটি স্বরশলাকার কম্পাংক 400 ও বাতাসে শব্দের বেগ সেকেণ্ডে 320 মিটার শলাকার 30টি কম্পনে শব্দ কত দূর যাইবে ? (C. U. 1913)

30টি কম্পনে বাতাসে 30টি তরংগের সৃষ্টি হইবে। এই 30টি তরংগের মোট দৈর্ঘ্য যত হইবে স্বাভাবিকভাবেই প্রথম সৃষ্টি তরংগটি ততদূর যাইবে ও **সেইটিই** 30টি কম্পনে ব্যয়িত সময়ে শব্দের সরণ।

তরংগ দৈর্ঘ্য $= \frac{c}{n} = \frac{320}{400} = 80$ মিটার।

$\therefore$ 30টি কম্পনে শব্দের সরণ $= ·80 \times 30 = 24$ মিটার।

(f) 1283 ও 384 কম্পাংক বিশিষ্ট দুইটি স্বরশলাকা বাতাসে যে তরংগের সৃষ্টি করে তাহাদের দৈর্ঘ্যের তুলনা কর। (C. U. 1950)

আমরা জানি, $c = n\lambda$,

(c = শব্দের বেগ, n = কম্পাংক, λ = তরংগ-দৈর্ঘ্য)।

মনে কর, প্রথম সুরশলাকার কম্পাংক ও তরংগ দৈর্ঘ্যকে যথাক্রমে n_1 ও λ_1 এবং দ্বিতীয়টির কম্পাংক ও তরংগ-দৈর্ঘ্যকে যথাক্রমে n_2 ও λ_2 বলিলাম।

$\therefore \quad n_1 = 128$ ও $n_2 = 384$;

আবার $c = n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2$ (কারণ c-এর মান স্থির)।

$$\therefore \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{384}{128} = \frac{3}{1} \text{ ।}$$

$\therefore$ তরংগ-দৈর্ঘ্যের অনুপাত $= 3 : 1$।

(g) 256 কম্পাংক-বিশিষ্ট একটি সুরশলাকার কতগুলি কম্পন হইলে শব্দ I´0 ফুট দূরে পৌছাইবে ? (শব্দের বেগ = 1024 ফু./সে)।

$$\lambda = \frac{v}{n} = \frac{1024}{256} = 4 \text{ ফুট ।}$$

$\therefore$ 160 ফুট স্থানে $\dfrac{160}{4} = 40$টি তরংগ থাকে।

$\therefore$ ইতিমধ্যে সুরশলাকার 40টি কম্পন হইবে।

(h) কোন সুরশলাকার কম্পাংক 256 ; সুরশলাকার 16টি কম্পন শেষে শব্দ বাতাসে 20 মিটার যায়। শব্দ-তরংগের দৈর্ঘ্য ও বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। (C. U. 1928)

16টি তরংগের দৈর্ঘ্য 20 মিটার।

$\therefore$ 1টি তরংগের দৈর্ঘ্য $\lambda = \dfrac{20}{16} = \dfrac{5}{4}$ মিটার।

$\therefore$ শব্দের বেগ $c = n\lambda = 256 \times \dfrac{5}{4} = 320$ মিটার/সে.।

(i) শব্দের বাতাসে ও হাইড্রোজেনে বেগ যথাক্রমে 1100 ফু./সে., এবং 4160 ফু./সে.। কোন সুরশলাকার কম্পনে যে তরংগের সৃষ্টি হয় বাতাসে ও হাইড্রোজেনে উহাদের দৈর্ঘ্যের তুলনা কর। (C. U. 1962)

মনে কর বাতাসে ও হাইড্রোজেনে শব্দের বেগ যথাক্রমে c_1 ও c_2, এবং তরংগের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে λ_1 ও λ_2।

$$\therefore \quad c_1 = n\lambda_1,$$

$$c_2 = n\lambda_2 \text{ ।}$$

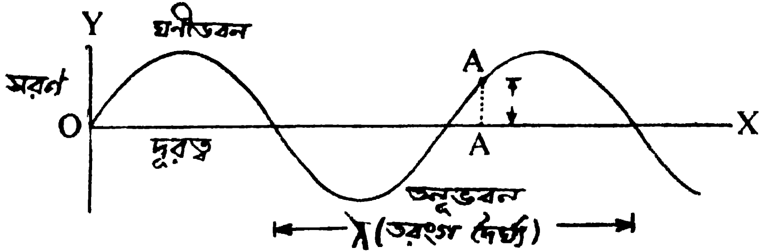
$$\therefore \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{1100}{4160} = \frac{55}{208} \text{ ।}$$

$\therefore$ বাতাসে তরংগ-দৈর্ঘ্য : হাইড্রোজেনে তরংগ-দৈর্ঘ্য $= 55 : 208$।

2.7. লেখ-চিত্রের সাহায্যে অনুদৈর্ঘ্য তরংগ প্রদর্শন (Diagrammatic Representation of Longitudinal wave-motion) :

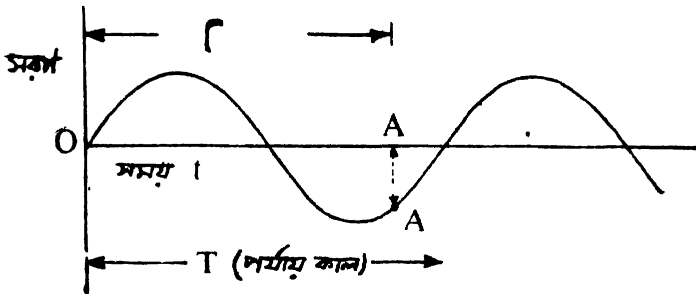
অনুদৈর্ঘ্য তরংগে আন্দোলিত কণাগুলির স্পন্দন তরংগ-গতির অভিমুখে হয়।

আমরা যদি তরংগের গতিকে একটি গ্রাফ-কাগজের X-অক্ষে ও কণাগুলির সরণ (একই অক্ষে হইলেও) Y-অক্ষে অংকন করি, তবে আমরা 2·5 নং চিত্রের ন্যায় লেখ পাইব। ঘনীভবনের সময়ে কণাগুলির সরণ ধনাত্মক (Positive) ও তনূভবনের সময়ে সরণকে ঋণাত্মক ধরা হয়।



2·5

আবার, আমরা জানি যে সুরশলাকার স্পন্দনের সংগে সংগে একই স্তর কখনও ঘনীভূত আবার পরেই তনূভূত হইবে। সুরশলাকার একটি স্পন্দনে যে সময়ে লাগে সেই সময়ে একটি স্তর একবার ঘনীভূত ও একবার তনূভূত হয়। অর্থাৎ কণাগুলি একবার একদিকে ও পরের বার বিপরীত দিকে অপসৃত হয়।



2·6

সুতরাং প্রতিটি পর্যায়-কালে ঐ স্তরের কণাগুলির একটি দোলন সম্পূর্ণ হয়। সুতরাং আমরা যে বিভিন্ন সময়ে কোন কণার সরণকে লেখ-চিত্রে অংকন করি, তবে 2.6 নং চিত্রের ন্যায় চিত্র পাইব। X-অক্ষে সময় ও Y-অক্ষে সরণ নির্দেশ করিতে হয়।

সুরশলাকার পর্যায় কালকে তরংগেরও পর্যায়-কাল বলা হয়।

2·5 নং চিত্র হইতে কোন মুহূর্তে তরংগের গতি-পথে কোন একটি কণার অবস্থান বাহির করা যায়। যেমন চিত্রে দেখ A কণাটি তখন ঘনীভবনের দিকে কিছুদূর অগ্রসর হইয়াছে।

2·6 নং চিত্রে যে কোন কণার কোন সময়ে অবস্থা বাহির করা যায়। যেমন স্পন্দনের সুরুতে যে কণাটি স্থির অবস্থায় ছিল (O অবস্থান), তাহা 1 সেকেণ্ড পরে AA অবস্থায় অর্থাৎ কিছুটা তনুভূত অবস্থায় থাকিবে। (কণাটি অবশ্য নিজে তনভূত হয় না, কিন্তু উহা যে স্তরে আছে তাহা তনভূত অবস্থায় থাকে ও ফলে কণাটি নিজের গড় অবস্থান হইতে এমন ভাবে অপসৃত থাকে যে উহার স্তরের তনুভবন হয়)।

[* আমরা যদি θ-এর বিভিন্ন মান ও তাহার সহিত Sin θ-এর মান লেখ চিত্রে অংকন করি যেন θ-এর মান X-অক্ষ ও Sin θ-এর মান Y-অক্ষের দ্বারা নির্দিষ্ট হয়, তবে 2·6 ও 2·7 নং চিত্রের ন্যায় চিত্র পাওয়া যায়। সেজন্য তরংগের লেখ-চিত্রকে Sine-লেখ (Sine-Curve) বলা হয়।

2.8. শব্দ তরংগের সাহায্যে সঞ্চালিত হয় (Sound is propagated as waves):

তির্যক তরংগের ক্ষেত্রেও কণাগুলির সরণকে দূরত্ব বা সময়ের সহিত লেখচিত্রে নির্দেশ করিলে 2·6 বা 2·7 নং চিত্রের ন্যায় চিত্র পাওয়া যায়। সেজন্য 2·6 নং বা 2·7 নং চিত্রের দ্বারা সমস্ত তরংগ-গতিকেই নির্দেশ করা হয়।

যখন কোন দাপ (pulse) কোন মাধ্যমের ভিতরে সঞ্চালিত হয় তখন উহা মাধ্যমে তির্যক বা অনুদৈর্ঘ্য তরংগের সৃষ্টি করে। তির্যক তরংগের উদাহরণ আলোকের বা তাপের ঈথরে সঞ্চালন, আর শব্দ বাতাসে অনুদৈর্ঘ্য তরংগের সৃষ্টি করে।

তরংগের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য আছে। বৈশিষ্ট্যগুলি শব্দের মধ্যেও পাওয়া যায়।

(a) তরংগ কোন বস্তুর স্পন্দনে সৃষ্ট হয়। শব্দও স্বনকের কম্পনে সৃষ্ট হয়।

(b) তরংগের নির্দিষ্ট সসীম বেগ আছে অর্থাৎ এক স্থান হইতে অন্যস্থানে যাইতে তরংগ কিছুটা সময় লয়, তা সে সময় যত কমই হউক না কেন। শব্দও

সসীম বেগে মাধ্যমে সঞ্চালিত হয়। বাতাসে শব্দের বেগ সেকেণ্ডে প্রায় 330 মিটার/সেকেণ্ড।

(c) তরংগের সঞ্চালনের জন্য কোন স্থিতিস্থাপক মাধ্যম প্রয়োজন। শব্দের সঞ্চালন মাধ্যম ছাড়া হয় না।

(d) শব্দের বেগ গ্যাস অপেক্ষা কঠিন ও তরলে বেশী হয়। অনুদৈর্ঘ্য তরংগের বেলায়ও তাহা হয়।

(e) তরংগের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ হয় এবং উহাদের নির্দিষ্ট সূত্র আছে। শব্দও প্রতিফলনের ও প্রতিসরণের সূত্র মানিয়া চলে।

(f) দুইটি তরংগ কোন বিন্দুতে একই সংগে উপস্থিত হইয়া ব্যতিচার (Interference) সৃষ্টি করে। অর্থাৎ কখনও খুব জোরালো হয় আবার কখনও পরস্পরকে নষ্ট করে। দুইটি শব্দ-তরংগও কোন বিন্দুতে ব্যতিচার করিতে পারে।

[ব্যতিচার কেন হয় তাহা বুঝিতে পারিবে। মনে কর বাতাসের মধ্যে কোন বিন্দুতে দুইটি সুরশলাকার স্বর একই সংগে পৌছিল। কিন্তু উহাদের একটির জন্য সেস্থানে ঘনীভবন (অর্থাৎ উচ্চচাপ) ও অন্যটির জন্য তনূভবন (অর্থাৎ নিম্নচাপ) হইল। দুই চাপ মিলিয়া মোট চাপ স্বাভাবিক হইয়া গেলে সেখানে বাতাসের কণার কোন আন্দোলন হইবে না, অর্থাৎ সেখানে কান রাখিলে কোন শব্দ শুনিতে পাওয়া যাইবে না।]

(g) তরংগ যাত্রাপথে কোন বাধা পাইলে উহার অপবর্তন (Defraction) অর্থাৎ উহা বাধার পাশ দিয়া ঘুরিয়া আবার চলিতে থাকে। শব্দও চলার পথে বাধা পাইলে ঘুরিয়া যায়।

[আলোকের বেলায় অপবর্তন হয় না বলিয়া মনে হইতে পারে, কারণ আলোক অসচ্ছ বস্তুর পিছনে ছায়ার মধ্যে ঢুকিতে পারে না। প্রকৃতপক্ষে আলোকের তরংগ-দৈর্ঘ্য এত কম যে সূক্ষ্ম বাধা ছাড়া উহার অপবর্তন হয় না। ব্লেডের ধার, সরু তার প্রভৃতির পাশ দিয়া আলোকের অপবর্তন লক্ষ্য করা যায়]।

2.9. চল-তরংগ ও স্থির-তরংগ (Progressive and Stationary waves):

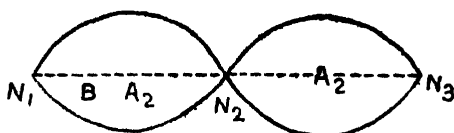
তরংগ যখন মাধ্যমের মধ্য দিয়া এক স্থান হইতে অন্যস্থানে সঞ্চালিত হয় তখন উহার গতি থাকে বলিয়া উহাকে চল-তরংগ বলে।

একই প্রকারের দুই চল-তরংগ যখন মাধ্যমের মধ্যে বিপরীত দিকে যায়, তখন উভয়ের মিলনে এক নূতন ধরণের তরংগের সৃষ্টি হয়। দুইটি বিপরীত গতি থাকায় তরংগগুলির গতি স্তব্ধ হইয়া যায়, কিন্তু উহাদের স্পন্দন বন্ধ হয় না। ফলে তরংগের দ্বারা বাহিত শক্তি আর মাধ্যমের ভিতর দিয়া সঞ্চালিত হইতে পারে না, মাধ্যমের ভিতরে বদ্ধ থাকে। এই ধরণের গতিবিহীন তরংগকে স্থির তরংগ বলে।

স্থির তরংগের এমন কতকগুলি বৈশিষ্ট্য আছে যাহা চল-তরংগের নাই। এই তরংগ-শ্রেণীতে দেখা যায় যে মাধ্যমের মধ্যে নির্দিষ্ট কয়েকটি বিন্দুতে কম্পন থাকে না,—সেই বিন্দুগুলিকে নিস্পন্দ বিন্দু (Nodes) বলে। দুইটি নিস্পন্দ বিন্দুর মাঝামাঝি একটি বিন্দুতে কম্পন সর্বাধিক হয়, এই বিন্দুকে সুস্পন্দ বিন্দু (Antinode) বলে। চল-তরংগে কিন্তু যে স্থান দিয়া তরংগ যায় সেখানে মাধ্যমের কোন কিছুই স্থির থাকে না, প্রত্যেকটি বিন্দুই স্পন্দন করে।

চল-তরংগে বিভিন্ন বিন্দুতে দশা বিভিন্ন হয় এবং প্রতিটি বিন্দুই বিভিন্ন সময়ে গড় অবস্থান (Mean position) হইতে সর্বোচ্চ সরণ (Maximum Displacement) পর্যন্ত অবস্থা লাভ করে। কিন্তু স্থির তরংগে, একটি নিস্পন্দ বিন্দু হইতে আরেকটি নিস্পন্দ বিন্দু পর্যন্ত সমস্ত বিন্দুগুলির দশা একই হয়, এবং বিভিন্ন বিন্দুর বিস্তার বিভিন্ন হয়।

একটি নিস্পন্দ বিন্দু হইতে পরবর্তী নিস্পন্দ বিন্দু পর্যন্ত মাধ্যমের যে দশা দ্বিতীয় নিস্পন্দ বিন্দু হইতে পরের বিন্দু পর্যন্ত মাধ্যমের দশা তাহার বিপরীত। (N_1N_2 ও N_2N_3-এর মধ্যের দশা বিপরীত)। পর পর তিনটি নিস্পন্দ বিন্দুর বা তিনটি সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যের দূরত্বকে তরংগ-দৈর্ঘ্য বলে ($N_1N_3=\lambda$)।



27

স্থির তরংগের আর এক বৈশিষ্ট্য হইল যে কোন এক মুহূর্তে সমস্ত মাধ্যমটিই স্থির থাকে, কারণ এই সময়ে সুস্পন্দ বিন্দুগুলি গড় অবস্থানে ফিরিয়া আসে, এবং ফলে নিস্পন্দ বিন্দু ছাড়া অন্যান্য বিন্দুও (যেমন B) একই দশায় থাকে বলিয়া উহারাও গড় অবস্থানে ফিরিয়া আসে। কিন্তু একটু পরেই সমস্ত মাধ্যম

স্পন্দিত হইয়া ওঠে ও অবশেষে সুস্পন্দ বিন্দুর সর্বোচ্চ সরণ হয়। এই সময়ের অবকাশ পর্যায়-কালের এক-চতুর্থাংশ। সুস্পন্দ বিন্দুর গড় অবস্থান হইতে কোন দিকে সর্বোচ্চ সরণ, সেখান হইতে গড় অবস্থানে প্রত্যাবর্তন, গড় অবস্থান হইতে বিপরীত দিকে সর্বোচ্চ সরণ, এবং পুনরায় গড় অবস্থানে প্রত্যাবর্তনে একটি পর্যায়-কাল অতিবাহিত হয়।

পুকুরের ঘাটলার কাছে জলে হাত দিয়া আঘাত করিতে থাকিলে, উদ্ভূত যে সমস্ত তরংগ ঘাটলার দিকে যায়, তাহারা ঘাটলার প্রতিফলনের ফলে ফিরিয়া যায় ও নূতন আগন্তুক তরংগ-শ্রেণীর সহিত মিলনে স্থির তরংগের সৃষ্টি করে। লক্ষ্য করিলে দেখিবে, জল একবার স্থির হইয়া আছে, আবার পরেই ছলকাইয়া উঠিতেছে।

তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য উভয় শ্রেণীর তরংগ দ্বারাই স্থির তরংগের সৃষ্টি সম্ভব। বাঁশিতে বাতাসের মধ্যে বা তারের যন্ত্রে তারের মধ্যে স্থির তরংগের সৃষ্টি হয়।

প্রশ্নমালা

1. তির্যক তরংগ কাহাকে বলে? কিভাবে তির্যক তরংগের সৃষ্টি দেখানো যায়?

What do you mean by a transverse wave? How can you illustrate the formation of a transverse wave?

2. অনুদৈর্ঘ্য তরংগ কি? পরীক্ষাগারে অনুদৈর্ঘ্য তরংগের সৃষ্টি কিরূপে দেখাইবে?

What is a longitudinal wave? How can you demonstrate a longitudinal wave in a laboratory? (U P Board 1943)

3. কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও—

দোলন, পর্যায়-কাল, কম্পাংক, তরংগ-দৈর্ঘ্য, তরংগ বেগ।

পর্যায়-কাল ও কম্পাংকের সম্বন্ধ প্রমাণ কর।

Explain—

Oscillation, Period, Frequency, Wave-length, Wave-velocity. Establish the relation between period and frequency.

4. সংজ্ঞা লিখ—

তরংগ-দৈর্ঘ্য, কম্পাংক।

তরংগ-বেগ, তরংগ-দৈর্ঘ্য ও কম্পাংকের সম্বন্ধ নির্দেশ কর।

Define—Wave-length. Frequency.

(C. U. 1938, '42, '52, '56 ; Pre. U. 1962 ; Pat. 1921)

. Establish the relation between velocity, wave-lenth and frequeney. (C. U. 1938, '42, '50, '52, '56, '61 ; Pat. 1921)

5. অনুদৈর্ঘ্য ও তির্যক তরংগ কাহাকে বলে বুঝাইয়া দাও। প্রত্যেকটির একটি করিয়া উদাহরণ দাও।

What are longitudinal and transverse waves? Explain and give one example for each. (C U. 1938, '42, '46)

6. 256 কম্পাংক বিশিষ্ট একটি সুরশলাকা বাতাসে যে তরংগের সৃষ্টি করে তাহার দৈর্ঘ্য কত? (বাতাসে শব্দের বেগ 1100 ফু./সে.)। [1·3 ফুট

Find the length of the wave produced in air by a fork vibrating 256 times per second. (velocity of sound in air = 1100 ft/sec). (C. U. 1952)

7. বাতাসে শব্দের বেগ 1120 ফুট/সেকেণ্ড হইলে, 264/সেকেণ্ড কম্পাংকের সুরশলাকা কয়েকবার কম্পন করিবার পরে শব্দ 154 ফুট দূরে শোনা যাইবে? [36. 3 বার]

'Taking 1120 ft/sec as the speed of sound in air, find the number of vibrations which a fork of frequency 264 must complete before the sound is heard 154 ft. away.

(C. U. 1937)

8. লাল বর্ণের আলোকের তরংগ-বেগ 3×10^{10} সেমি./সে. এবং তরংগ-দৈর্ঘ্য 7500×10^{-8} সেমি. হইলে ঐ আলোকের কম্পাংক কত?

[4×10^{14}/সেকেণ্ড]

Red light has a velocity 3×10^{10} cm/sec. and wave length 7500×10^{-8} cm. Find its frequency.

9. একটি সুরশলাকা 30 ইঞ্চি দৈর্ঘ্যের তরংগ সৃষ্টি করে। তরংগের বেগ 1100ফু./সে. হইলে সুরশলাকার কম্পাংক কত? [440 সেকেণ্ড

A tuning fork produces sound waves of 30 inches length. If the velocity of the wave is 1100 ft/sec., what, is the frequency of the fork ?

10. শব্দ বাতাসে 330 মিটার/সেকেণ্ড বেগে চলে। 20000 ও 20 কম্পাংকের শব্দের তরংগ-দৈর্ঘ্য কত ? [1,65 ও 1650 সেমি.]

Sound travels through air at a speed of 330 metre/sec. Find the wave-lengths of frequencies 20000 and 20.

11. কোন বস্তুর কম্পনের ফলে A মাধ্যমে 10 সেমি. ও B মাধ্যমে 15 সেমি. দৈর্ঘ্যের তরংগ সৃষ্টি হয়। A মাধ্যমে তরংগের বেগ 90 সেমি./সেকেণ্ড হইলে B মাধ্যমে তরংগ-বেগ কত ? [135 সেমি/ সেকেণ্ড]

A body vibrating at a constant frequency sends waves 10 cm long through one medium, A and waves 15 cm. long through another medium B. The velocity of the waves in A is 50 cm/sec. Find the velocity in B. (C. U. 1931)

12. কোন স্বরশলাকার কম্পাংক 560। স্বরশলাকার 100টি কম্পনে যে সময় লাগে ততক্ষণে শব্দ কতদূর যাইবে ? বাতাসে শব্দের বেগ 1120 ফুট/ সেকেণ্ড। [200 ফুট]

The frequency of a tuning fork 560. Find how far the sound will have travelled by the time the fork completes 100 vibrations. Velocity of sound in air 1120 ft/see.

(C. U. 1950)

13. একটি স্বরশলাকা বাতাসে 100·6 সেমি. ও হাইড্রোজেনে 382·4 সেমি. দৈর্ঘ্যের তরংগ প্রেরণ করে। বাতাসে শব্দের বেগ 320 মিটার/সেকেণ্ড ; বাতাসে শব্দের বেগ 320 মিটার/ সেকেণ্ড ; হাইড্রোজেনে উহা কত ?

[1216.4 মিটার/ সেকেণ্ড]

A tuning fork sends waves, 100·6 cm. and 382·4 cm. long respectively, through air and hydrogen. Given the velocity of sound in air = 320 metre/sec. find is value in hydrogen.

14 বাতাসে শব্দ কিভাবে সঞ্চালিত হয় ব্যাখ্যা কর।

Explain how sound is propagated through air. (C. U. 1920, '24,'26 46,'58 ; Pro. U. 1962 ; H. S. 1960 ; Pat. 1931, '46 ; Mad 1937, '40).

15. শব্দ যে তরংগ-গতিতে অগ্রসর হয় তাহার সমর্থনে কি কি যুক্তি দেওয়া যায় ?

আলোক ও শব্দ-তরংগের প্রভেদ কি ?

What are the evidences in support of the view that sound is propagated by means of of wave-motion ?

(C U. 1953)

What is the difference between sound-waves and light-waves ?

16 স্থির ও চল-তরংগ কাহাকে বলে ? ইহাদের পার্থক্য কি ? স্থির ও চল-তরংগ সৃষ্টির একটি করিয়া উদাহরণ দাও।

What are stationary and progressive waves ? What are their distinctions ?

Give an example each where stationary and progressive waves are produced. (C. U. 1955).

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

শব্দের বেগ

(Velocity of Sound)

3.1. **শব্দের সসীম বেগ আছে** (**Sound has finite velocity**) : মাধ্যমের অণুর কম্পনে শব্দ সঞ্চালিত হয়। শব্দ এক স্থান হইতে আর এক স্থানে যাইতে কিছুটা সময় নেয়। মেঘলা দিনে আকাশে বিদ্যুৎ-চমক হইলে মেঘের গর্জন তোমরা শুনিয়া থাকিবে। মেঘ হইতে মেঘে বিদ্যুৎ স্ফুরণ ও তাহার ফলে বাতাসে প্রচণ্ড চাপের সৃষ্টিই ইহার কারণ। দুইটি একই সঙ্গে হয়, কিন্তু বিদ্যুৎ-চমকের অনেক পরে মেঘের গর্জন শুনিতে পাওয়া যায় ইহার কারণ আর কিছুই নয়, আলোক ও শব্দ উভয়েই সসীম বেগে চলে বটে, কিন্তু আলোক শব্দ অপেক্ষা অনেক বেশী বেগে চলে। তোমরা হয়তো জান, আলোক সেকেণ্ডে প্রায় 186,000 মাইল চলে, শব্দ কিন্তু সে জায়গায় প্রায় 1 মাইল মাত্র চলে। আকাশে 1 মাইল ঊর্ধ্বে বিদ্যুৎ চমক হইলে তাহা আমরা মাত্র 0.000005 সেকেণ্ড পরে দেখি, কিন্তু উহার গর্জন শুনি 5 সেকেণ্ড পরে। দূরে রেল-ইঞ্জিনের ধোঁয়া অনেক আগেই দেখা যায়, কিন্তু উহার বাঁশীর আওয়াজ বেশ পরে শুনিতে পাওয়া যায়

0° সে. তাপমাত্রায় শুষ্ক বাতাসে শব্দের বেগ সেকেণ্ডে 332 মিটার বা প্রায় 1120 ফুট। তাপমাত্রা বাড়িলে, কিংবা বাতাসের আর্দ্রতার পরিমাণ বৃদ্ধি হইলে শব্দের বেগ বাড়ে। মনে কর, তুমি কলিকাতায় বসিয়া এত জোরে চীৎকার করিলে যে দিল্লীতে তোমার কোন বন্ধু সে শব্দ শুনিতে পাইল। দিল্লীর দূরত্ব 900 মাইল ধরিলে তোমার বন্ধু তোমার চীৎকার করিবার প্রায় 1 ঘণ্টা 10 মিনিট পরে সেই শব্দ শুনিবে।

বিভিন্ন বস্তুতে শব্দের বেগ বিভিন্ন। জলে শব্দ সেকেণ্ডে প্রায় 1900 ফুট চলে, লোহে চলে সেকেণ্ডে 16900 ফুট। কঠিন পদার্থে শব্দের বেগ বেশী হয়।

3.2. **শব্দের বেগ নির্ণয়ের পরীক্ষা** (**Experimental Determination of velocity of Sound**) : বাতাসে শব্দের গতিবেগ নির্ণয়ের পরীক্ষাকে দুইভাগে ভাগ করা যায়—

(A) **মুক্ত বায়ুতে পরীক্ষা** (Open air-experiments) এবং (B) **বায়ু স্তম্ভের অনুনাদী কম্পনের পরীক্ষা** (Resonant vibration of Air Columns)।

(A) মুক্ত বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় (Determination of Velocity of Sound in Open Air) :

1738 খৃষ্টাব্দে **পারী আকাদেমীর (Paris Academy)** তিনজন সদস্য **কাসিনি (Cassini), মারাল্‌দী (Maraldi)** এবং **লা কাইএ (La Caille)** বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয়ের যে পরীক্ষা করেন তাহাই সম্ভবতঃ প্রথম বিজ্ঞান-সম্মত পদ্ধতি। তাঁহারা প্রায় 18 মাইল দূরবর্তী দুইটি মানমন্দির বা অব্‌জারভেটরী হইতে পরীক্ষা চালান। একটি পরীক্ষা-কেন্দ্র হইতে কামান ছোঁড়া হয় ও অন্য কেন্দ্রে উহার শব্দ ধরা হয়। দ্বিতীয় কেন্দ্রে পর্যবেক্ষক কামানের অগ্নিশিক্ষা দেখামাত্র ঘড়ি চালান ও উহার শব্দ শোনা মাত্র ঘড়ি বন্ধ করেন। আলোকের বেগ খুব বেশী হওয়ায় ধরা যায় যে প্রথম কেন্দ্রে কামান ছুঁড়িবামাত্র দ্বিতীয় কেন্দ্রে উহার অগ্নিশিখা দেখা যায়। অতএব উহাদের সময়ের পার্থক্য যদি t সেকেণ্ড হয়, তবে উভয় কেন্দ্রের দূরত্ব x হইলে,

$$\text{শব্দের বেগ } v = \frac{x}{t} \quad।$$

পরে **আরাগো, রেগো** প্রভৃতি আরও বহু বিজ্ঞানী একই নীতিতে আরও অনেক পরীক্ষা করেন।

এই পদ্ধতিতে দুইটি কারণে শুদ্ধি প্রয়োগ করা প্রয়োজন,—(i) **বাতাসের বেগ** (wind velocity) ও (ii) **পর্যবেক্ষকের ব্যক্তিগত ভ্রান্তি** (Personal Error of the observer)।

(i) **বাতাসের বেগের জন্য ভ্রান্তি :** নদীতে নৌকা বাহিবার সময়ে দেখা যায়, ভাটিতে অর্থাৎ স্রোতের অভিমুখে নৌকা যত জোরে চলে, উজানে অর্থাৎ স্রোতের বিপরীতে নৌকা তত জোরে চলে না। ইহার কারণ, নৌকার মোট বেগ হইল উহার দাঁড়ের বেগ ± স্রোতের বেগ।

মুক্ত বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয় করিবার সময়ে বাতাসের প্রবাহ থাকিলে বাতাসের প্রবাহের অভিমুখে শব্দ বেশী বেগে চলে, আর বাতাসের প্রবাহের বিপরীত মুখে শব্দ কম বেগে চলে।

বাতাসের বেগের জন্য যে শুদ্ধি প্রয়োজন তাহা নিম্নলিখিত উপায়ে বাহির করা যায়।

মনে কর, পরীক্ষা-কেন্দ্র দুইটির একটি A ও অন্যটি B, A হইতে B অভিমুখে বাতাস বহিতেছে।

একবার A-তে কামান ছোঁড়া হইল ও B-তে শব্দ পৌছানোর সময় দেখা হইল ; মনে কর ইহাতে সময় লাগিবে t_1 সেকেণ্ড। একই ভাবে B-তে কামান ছুঁড়িয়া A-তে শব্দের পৌছিবার সময় দেখা হইল. মনে কর ইহা t_2 সেকেণ্ড।

শব্দের বেগ যদি c ও বাতাসের বেগ যদি v হয়, তবে—

A হইতে B-তে যাইতে শব্দের মোট বেগ $c+v$। A ও B-এর দূরত্ব x হইলে,

$$t_1 = \frac{x}{c+v} \text{ ।}$$

একইরূপে, B হইতে A-তে যাইবার সময় শব্দের মোট বেগ $C-V$,

$$\text{এবং} \quad t_2 = \frac{x}{c-v} \text{ ।}$$

$$\therefore \quad c+v = \frac{x}{t_1},$$

$$\text{এবং} \quad c-v = \frac{x}{t_2},$$

$$\therefore \quad c = \frac{x}{2}\left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2}\right) \text{ ।}$$

পর পর কয়েকটি পাঠ লইয়া c-এর গড় মান স্থির করা হয়।

(ii) **ব্যক্তিগত ভ্রান্তি (Personal Error) :**

শব্দ-গ্রহণ কেন্দ্রের পর্যবেক্ষকের অগ্নিশিখা দেখামাত্র ঘড়ি চালানো দরকার, আবার শব্দ পৌছানো-মাত্র ঘড়ি বন্ধ করা প্রয়োজন। চোখ বা কানে কোন সংকেত পৌছানোর পরে ঘড়ি চালানো বা বন্ধ করার জন্য পর্যবেক্ষকের হাত চলিবার পূর্বে কিছুটা সময় লাগে। বিভিন্ন ব্যক্তির বেলায় এই সময়ের পরিমাণ বিভিন্ন। অতএব উভয় কেন্দ্রের পর্যবেক্ষকের বেলায় এই ব্যক্তিগত ভ্রান্তির পরিমাণ পৃথক হইবে।

এই ভ্রান্তিকে দূর করিবার কোন উপায় নাই, কারণ এই ভ্রান্তির পরিমাণ অনির্দিষ্ট।

রেগো এই ভ্রান্তি নির্মূল করিবার জন্য পর্যবেক্ষকের স্থানে মাইক্রোফোন ও বিদ্যুৎ-চালিত ঘড়ি ব্যবহার করেন। কিন্তু এইরূপ যান্ত্রিক ব্যবস্থারও কিছুটা ভ্রান্তি থাকে।

প্রথম মহাযুদ্ধের সময়ে শত্রুপক্ষের কামানের গোলার গতিবেগ নির্ণয়ের জন্য শব্দের সাহায্য গ্রহণের যে পদ্ধতি (Sound Ranging). তাহাই বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয়ের শ্রেষ্ঠ পদ্ধতি বলিয়া পরিচিত। ইহাতে বিদ্যুচ্চালিত মাইক্রোফোন ও গ্যালভানোমিটার (Galvanometer) ব্যবহার করা হইত।

বিভিন্ন পরীক্ষার ফল অনুসারে শুষ্ক ও স্থির বাতাসে 0° সে. তাপমাত্রায় শব্দের বেগ 331·7 মিটার/সেকেণ্ড ধরা হয়। আরও দেখা গিয়াছে যে—

(a) বায়ু-চাপের জন্য শব্দের বেগের কোন পার্থক্য হয় না,

(b) তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে শব্দের বেগ বাড়ে ; এই বৃদ্ধির পরিমাণ প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেডের বৃদ্ধির জন্য প্রায় 61 সেমি.।

(c) বাতাসের আর্দ্রতা বাড়িলে শব্দের বেগ বাড়ে।

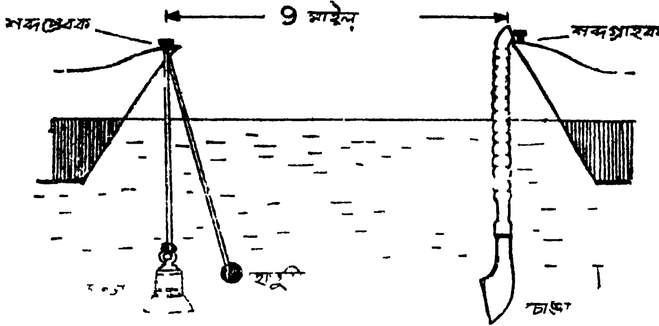
(d) তীব্র অর্থাৎ প্রবল শব্দের বেগ মৃদু শব্দ অপেক্ষা বেশী ; এবং উৎস হইতে যতদূরে যায়, ততই শব্দ ক্ষীণ হইতে থাকে বলিয়া ইহার বেগ কমিতে থাকে।

(B) অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে শব্দের বেগ নির্ণয় (Determination of Velocity of Soundby Resonant Air Column) ঃ এই পদ্ধতিতে পরীক্ষাগারে অল্পস্থানের মধ্যে শব্দের বেগ নির্ণয় করা যায়। ইহার বর্ণনা "বায়ুস্তম্ভের কম্পন" পরিচ্ছেদে পাইবে।

3.3. জলে শব্দের বেগ নির্ণয় (Determination of velocity of Sound in Vater) ঃ

1826 খ্রীষ্টাব্দে জেনেভা হ্রদে **কোলাডন** এবং **ষ্টুর্ম** জলের মধ্যে শব্দের গতিবেগ নির্ণয় করেন। জলে দুইটি নৌকা পরস্পর হইতে নির্দ্দিষ্ট কিছুটা দূরে রাখা হয়। একটি নৌকার নীচে জলের মধ্যে একটি ঘণ্টা ঝুলান ছিল ও একটি হাতুড়ির দ্বারা উহাতে আঘাত করা যাইত। হাতুড়ির আঘাতের সংগেই যান্ত্রিক ভাবে নৌকার পাটাতনের উপর অবস্থিত বারুদ জ্বলিয়া উঠিত, ফলে অগ্নিশিখা দেখিয়া শব্দের সৃষ্টির মুহূর্ত স্থির করা যাইত। দ্বিতীয় নৌকার নীচে একটি

চোঙা জলের মধ্যে শব্দকে গ্রহণ করিত। সেই চোঙার সহিত সংযুক্ত একটি নল পর্যবেক্ষকের কানে লাগানো ছিল, ফলে, দ্বিতীয় নৌকায় শব্দ মুহূর্তকে পর্যবেক্ষক স্থির করিতে পারিতেন।



3·1

1917 সালে ডুবো-জাহাজের সাহায্যে জলে শব্দের বেগ নির্ণীত হয়। জলে শব্দের বেগ বাতাসের বেগ অপেক্ষা প্রায় 4 গুণ, ইহার মান 1437 মিটার/সেকেণ্ড।

3 4 **বিভিন্ন তরলে শব্দের বেগ নির্ণয়** (**Determination of Velocity of Sound in Lequids**) :

ওয়ার্টহেইম (**Weirtheim**), **কুণ্ডট** (**Kundt**) ও **লেহ্‌মান** (**Lehmann**) বিভিন্ন তরলে শব্দের বেগ নির্ণয় ক. .।

3 5 **বিভিন্ন গ্যাসে শব্দের বেগ নির্ণয়** (**Determination of Velocity of Sound in Gases**) :

কুণ্ডটের পদ্ধতিতে বিভিন্ন গ্যাসে শব্দের বেগ নির্ণয় করা সম্ভব হইয়াছে। এই পদ্ধতিতে গ্যাসের স্তম্ভে অনুনাদি শব্দ তরংগ সৃষ্টি করা হয়।

3.6 **কঠিনে শব্দের বেগ নির্ণয়** (**Determination of Velocity of Sound in Solids**) :

বায়ো (Biot) ঢালাই লোহার ভিতরে শব্দের বেগ নির্ণয় করেন। তিনি কয়েকটি ঢালাই লোহার নল জোড়া দিয়া মোট 951 25 মিটার দীর্ঘ একটি ফাঁপা পাইপ নির্মাণ করেন। ইহার একপ্রান্তে একটি ঘণ্টার আঘাত করিলে শব্দের এক অংশ লৌহের ভিতর দিয়া ও অপর অংশ পাইপের মধ্যের বাতাসের ভিতর দিয়া অপর প্রান্তে পৌঁছায়। ফলে দুইটি শব্দ শোনা যায়। লৌহের ভিতর দিয়া

শব্দ জোরে চলে। মনে কর, শব্দ দুইটি শুনিবার মধ্যের অবকাশ t, এবং পাইপের দৈর্ঘ্য r, এবং শব্দের লোহার ভিতর দিয়া পৌছিতে t_1 সেকেণ্ড ও বাতাসের মধ্য দিয়া পৌছাইতে t_2 সেকেণ্ড লাগে। লৌহে শব্দের বেগ c_1, ও বাতাসে c হইলে,

$$t_1 = \frac{r}{c_1},\ t_2 = \frac{r}{c},$$

এবং $t = t_1 - t_2 = \frac{r}{c_1} - \frac{r}{c}$ ।

∴ c—এর মান জানা থাকিলে c_1 এর মান বাহির করা যায়।

এই পদ্ধতিতে লৌহের বেগ কিন্তু কিছু কম পাওয়া যায়।

লৌহে শব্দের বেগ প্রায় 5130 মিটার সেকেণ্ড।

কুণ্ডটের অনুনাদী স্তম্ভের পদ্ধতিতে কঠিন পদার্থে শব্দের বেগ বাহির করা যায়।

3.7. কয়েকটি মাধ্যমে শব্দের বেগ ঃ

মাধ্যম	বেগ মিটার/সেকেণ্ড	মাধ্যম	বেগ মি./সে.
শুষ্ক 0° সে তাপমাত্রার বায়ু	331.7	জল (0 সে.)	1390
t সে. তাপমাত্রার বায়ু	331.7 + 0.61 t	লোহা	5130
N.T.P.-তে অক্সিজেন	316	কাচ	5000
N.T.P.-তে হাইড্রোজেন	1262	রবার	30—60

3.8. অনুশীলন ঃ

(a) শব্দের বেগ নির্ণয়ের পরীক্ষার জন্য পরস্পর হইতে 28 কি. মি. দূরে দুইটি পর্যবেক্ষণ কেন্দ্রে দুইজন পরীক্ষক দাঁড়াইলেন। একটি কেন্দ্রে কামান ছোঁড়া, হইল ও দ্বিতীয় কেন্দ্রের পর্যবেক্ষক 1 মি. 24 সে. পরে উহার শব্দ শুনিতে পাইলেন। পরীক্ষার সময়ে শব্দের বেগ কত?

অতিক্রান্ত দূরত্ব = 28 কি. মি. = 28000 মিটার।

সময় = 1 মি. 24 সে. = 84 সে.

$$\therefore \text{বেগ} = \frac{\text{দূরত্ব}}{\text{সময়}} = \frac{28000}{84} = 333.3 \text{ মি./সে}$$ ।

(b) শব্দের বেগ নির্ণয়ের একটি পরীক্ষায় A ও B দুইটি পরীক্ষা-কেন্দ্রের মধ্যে দূরত্ব ছিল 9.5 কি. মি.। পরীক্ষার সময়ে A হইতে B অভিমুখে

ঘণ্টায় 18 কি. মি. বেগে বাতাস বহিতেছিল। A-তে কামান সংকেত করিলে তাহা B তে 27·9 সেকেণ্ড পরে ও B এর কামান সংকেত A-তে 28·6 সেকেণ্ড পরে শোনা গেল। স্থির বাতাসে শব্দের বেগ কত?

মনে কর শব্দের বেগ = v,

বাতাসের বেগ = w (= 18 কি.মি/ঘ. = 5 মি/সে.)।

যেহেতু বাতাস A হইতে B-এর দিকে বহিতেছিল, অতএব,

A হইতে B এর অভিমুখে শব্দের মোট বেগ $= v+w$,

এবং B হইতে A অভিমুখে শব্দের মোট বেগ $= v-w$।

A হইতে B-তে শব্দ পৌঁছাইতে সময় $t_1 = 27{\cdot}9$ সে.,

B হইতে A তে শব্দের পৌঁছাইতে সময় $t_2 = 28{\cdot}6$ সে;

A হইতে B-এর দূরত্ব $x = 9{\cdot}5$ কি. মি. = 9500 মিটার।

$\therefore \quad t_1 = \frac{x}{v+w}$, এবং $t_2 = \frac{x}{v-w}$।

$$\therefore \quad v+w = \frac{x}{t_1}$$

$$v-w = \frac{x}{t_2},$$

$$\therefore \quad v = \frac{x}{2}\left(\frac{1}{t_1}+\frac{1}{t_2}\right) = \frac{9500}{2}\left(\frac{1}{27{\cdot}9}+\frac{1}{28{\cdot}6}\right) = 336{\cdot}19 \text{ মি./সে.।}$$

(c) একটি 64 ফুট গভীর ইঁদারায় একটি ঢিল ফেলিবার 2·057 সেকেণ্ড পরে জলে ইঁটের পড়িবার শব্দ শোনা গেল। সেই সময়ে বাতাসে শব্দের বেগ কত ছিল? ($g=32$ ফুট/সে².)।

ঢিল ফেলিবার পরে ঢিল জলে পড়িয়া শব্দ করিলে সেই শব্দ উপরে চলিয়া আসিবে। অতএব ঢিলের নীচে পড়িবার সময়+শব্দের উপরে আসিবার সময়=2·057 সেকেণ্ড।

ঢিলের নীচে পড়িবার সময় t সেকেণ্ড হইলে,

$$\tfrac{1}{2}gt^2 = 64,$$

অথবা $16t^2=64$, $\therefore t = 2$সে.।

সুতরাং শব্দের নীচ হইতে উপরে 64 ফুট অতিক্রম করিতে 2·057-2 = 0·057 সেকেণ্ড লাগে।

$$\therefore \text{ বেগ } v = \frac{64}{{\cdot}057} = 1122{\cdot}8 \text{ ফুট/সে.।}$$

(d) ফোর্ট উইলিয়ম হইতে কোন ব্যক্তির গৃহের দূরত্ব 4 মাইল। ফোর্ট উইলিয়মের বেলা একটার তোপ শুনিয়া কোন ব্যক্তি তাঁহার ঘড়ি মিলাইলে তাঁহার ঘড়িতে সময়ের কত ভুল হইবে? (বাতাসে শব্দের বেগ 1120 ফু. সে.)

ফোর্ট উইলিয়ম হইতে তোপের আওয়াজ ঐ ব্যক্তির কানে পৌঁছিতে $\frac{4\times 5280}{1120}=18.85$ সেকেণ্ড লাগিবে। অতএব একটার তোপ তিনি একটা বাজিয়া 18·85 সে. পরে শুনিবেন। তখন তাঁহার ঘড়িতে তিনি যদি একটা বাজিল দেখান তবে তাঁহার ঘড়ি 18·85 সেকেণ্ড শ্লো হইয়া যাইবে।

(e) কোন দুর্গ হইতে একটি নির্দিষ্ট সময়ে কামান ছোড়া হয়। দূরবর্তী কোন ব্যক্তি কামানের গর্জন শুনিয়া ঘড়ি মিলাইলেন, কিন্তু পরে দেখিলেন যে ঘড়ি আধ মিনিট শ্লো হইয়াছে। কেন এইরূপ হইল?

শব্দের বেগ 1100 ফুট/সেকেণ্ড ধরিয়া ঐ ব্যক্তি ও দুর্গের মধ্যের দূরত্ব বাহির কর। (H. S. 1960)

প্রথম অংশের উত্তর—পূর্বেই দেওয়া হইয়াছে।

দ্বিতীয় অংশের উত্তর

শব্দের দুর্গ হইতে লোকটির কাছে যাইতে আধ মিনিট, অর্থাৎ 30 সেকেণ্ড লাগে। সুতরাং এই সময়ে শব্দ $1100\times 30=33000$ ফুট দূরত্ব অতিক্রম করিবে, ও ইহাই লোকটির দূরত্ব।

∴ দুর্গ ও লোকটির মধ্যের দূরত্ব = 33000 ফুট = 6 মাইল 1320 ফুট।

3.9. তাত্ত্বিক পদ্ধতিতে শব্দের বেগ নির্ণয়—নিউটনের সংকেত (Theoretical determinations of velocity of Sound—Newton's Formulae):

নিউটন গণিতের সাহায্যে দেখান যে সরিল (fluid) মাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য তরংগের বেগ একটি সহজ সংকেতের সাহায্যে প্রকাশ করা চলে। যেহেতু শব্দ অনুদৈর্ঘ্য তরংগের সাহায্যে অগ্রসর হয় অতএব গ্যাস বা তরলে শব্দের বেগও এই সংকেতের দ্বারা বাহির করা চলে।

নিউটনের সংকেত: কোন সরিলের স্থিতিস্থাপকতার আয়তন গুণাংক E ও ঘনত্ব ρ হইলে, ঐ সরিলে শব্দের বেগ

$$c=\sqrt{\frac{E}{\rho}}\ ।$$

$$\text{পদার্থের আয়তন গুণাংক} = \frac{\text{আয়তন-পীড়ন (Volume Stress)}}{\text{আয়তন-বিকৃতি (Volume Strain)}}$$

আয়তন-পীড়ন বলিতে, শব্দের সঞ্চালনের ফলে, অর্থাৎ বলিতে পার ঘনীভবন তরংগের সৃষ্টিতে মাধ্যমের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে সৃষ্ট বর্ধিত চাপ বুঝায়। আয়তন-বিকৃতি বলিতে প্রতি একক আয়তনে আয়তনের পরিবর্তন বুঝাইবে।

নিউটন ধরিয়া লইলেন যে মাধ্যমের ভিতর দিয়া যখন তরংগ সঞ্চালিত হয়, তখন মাধ্যমের তাপমাত্রার পরিবর্তন হয় না। এবং ফলে মাধ্যমের চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন **বয়েলের সূত্র** (Boyle's Law) অনুসরণ করিয়া চলে।

তাহা হইলে প্রমাণ করা যায় যে $E = P$, অর্থাৎ মাধ্যমের স্বাভাবিক চাপ।

তাহা হইলে $c = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$ ।

3.10. স্বাভাবিক তাপমাত্রায় ও চাপ বাতাসে শব্দের গতিবেগের হিসাব (Calculation of velocity of sound in air at N.T.P) :

নিউটনের সংকেত অনুসারে, $c = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$ ।

এখন স্বাভাবিক বায়ু-চাপ $= 76$ সেমি. পারদ-স্তম্ভের চাপ

$= 76 \times 13{\cdot}596 \times 980 = 1{\cdot}013 \times 10^6$

ডাইন/ ব. সেমি.।

স্বাভাবিক তাপমাত্রা $= 0$ সে.।

বাতাসের ঘনত্ব ρ $= 0{\cdot}001293$ গ্রাম/সিসি.।

$$\therefore \quad c = \sqrt{\frac{P}{\rho}} = \sqrt{\frac{1{\cdot}013 \times 10^6}{{\cdot}001293}} \text{ সেমি./সেকেণ্ড।}$$

$= 280$ মিটার/সেকেণ্ড।

কিন্তু পরীক্ষালব্ধ ফলের ভিত্তিতে দেখা গিয়াছে শব্দের বেগ $= 331{\cdot}7$ মিটার/সেকেণ্ড।

সুতরাং নিউটনের কোথায় যেন ভুল রহিয়া গেল।

3.11. লাপ্লাসের সংশোধন (Laplace's Correction) :

নিউটনের গরীমার যুগে **নিউটনের** কোন তথ্যকে ভ্রান্ত বলা দুঃসাহসের কাজ বলিয়া গণ্য হইত। **কিন্তু** ফরাসী গণিতজ্ঞ **লাপ্লাস** সেই স্পর্ধার কাজটুকু করিয়া বসিলেন।

লাপ্লাস মত প্রকাশ করিলেন, যে শব্দ-তরংগ যখন বাতাস বা অন্য গ্যাসীয় মাধ্যমের মধ্য দিয়া যায়, তখন সেই মাধ্যমে ঘনীভবন ও তনূভবন অতিশয় দ্রুত হারে হয়। বাতাসে যখন দ্রুত ঘনীভবনের সৃষ্টি হয় তখন বাতাসের তাপমাত্রা বাড়ে, আবার তনূভবনের সময়ে তাপমাত্রা কমে। ফলে নিউটন যে ধরিয়া লইলেন যে বাতাসের তাপমাত্রার পরিবর্তন হয় না তাহা ঠিক নয়, এবং ফলে বাতাসের চাপ ও আযতনের পরিবতন **বয়েলের** সূত্র ধরিযা হয না।

তাহা হইলে E = P হয় না।

তিনি এই যুক্তির ভিত্তিতে দেখাইলেন যে $E = \gamma P$, যেখানে γ একটি ধ্রুবক।

γ প্রকৃত পক্ষে স্থির চাপে ও স্থির আযতনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপের অনুপাত। কঠিন ও তরলে স্থির আযতনে আপেক্ষিক তাপের মান প্রায সমান হইলেও গ্যাসের বেলায ইহাদের অনেকটা পার্থক্য হয।

বাতাস, অক্সিজেন (O_2), হাইড্রোজেন (H_2), নাইট্রোজেন (N_2) প্রভৃতি দুই পরমাণু-বিশিষ্ট অণুর বেলায γ-এর মান 1.41 ; আর্গন (A), হিলিযাম (He) প্রভৃতি এক পরমাণু-বিশিষ্ট গ্যাসের বেলায 1.67।

অতএব **লাপ্লাসের** সংশোধিত সংকেত অনুসারে, $v = \sqrt{\dfrac{\gamma P}{\rho}}$।

বাতাসে γ-এর মান প্রযোগ করিলে,

$$v = \sqrt{\frac{1.41 \times 1.013 \times 10^6}{0.001293}} = 320 \text{ মিটার/সেকেণ্ড}।$$

অতএব **লাপ্লাসের** সংকেত অনুসারে শব্দের বেগ পরীক্ষালব্ধ বেগের কাছাকাছি আসে।

স্থির চাপে ও স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ : কোন গ্যাসকে তাপ দিয়া যখন উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি করা হয়, তখন উহার আযতনের প্রসরণের সম্ভাবনা থাকে। যদি চাপ স্থির রাখা যায়, তবে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে গ্যাসের আযতন বৃদ্ধি হয তোমরা জান। আবার ঐ স্থির চাপের বিরুদ্ধে আয়তন বৃদ্ধির জন্য কিছুটা কায ব্যয় হয (সাধারণ পদার্থ-বিজ্ঞান, দ্বাদশ পরিচ্ছেদ 17 নং প্রশ্ন)। এই কার্য আমরা যে তাপ প্রয়োগ করিতেছি তাহার ব্যয়-দ্বারাই সম্ভব হয়। অতএব তাপ শুধু তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য ব্যয না হইযা কিছুটা প্রসারণ-কার্যের জন্যও লাগে ; অর্থাৎ মোট তাপ, এবং ফলে আপেক্ষিক তাপ

বেশী লাগে। আয়তন স্থির রাখিলে তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে গ্যাসের চাপের কেবল বৃদ্ধি হয়, প্রসরণ হয় না বলিয়া কোন কায ব্যয় হয় না, অতএব স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপ কম লাগে।

3.12. বাতাসে শব্দের বেগের উপর উষ্ণতা, চাপ ও আর্দ্রতার প্রভাব (Effects of Temperature, Pressure and Humidity on the Velocity of Sound in air) :

(a) শব্দের বেগের উপর উষ্ণতার প্রভাব :

বাতাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইলে উহার মধ্যে শব্দের বেগ বৃদ্ধি পায়।

শব্দের বেগ বাতাসের চরম তাপমাত্রার বর্গমূলের সমানুপাতিক হয়। দেখা যায় যে 0 সে. তাপমাত্রা হইতে প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য শব্দের বেগ প্রায় 61 সেমি. বা 2 ফুট হারে বাড়ে।

বাতাসে শব্দের বেগ c হইলে এবং যদি বাতাসের চাপ P, ঘনত্ব ρ, বাতাসের স্থির চাপ ও স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপের অনুপাত γ হয় তবে,

$$c = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}\ ।$$

চাপ স্থির থাকিয়া বাতাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে ঘনত্ব কমিয়া যায়, অতএব শব্দের বেগ বাড়ে।

0 সে. ও $t°$ সে. উষ্ণতায় নির্দিষ্ট পরিমাণ বাতাসের ঘনত্ব যদি যথাক্রমে ρ_0 ও ρ_t হয় তবে, $\rho_t = \rho_0\left(1 - \frac{t}{273}\right)$ বা $\rho_t\left(1 + \frac{t}{273}\right) = \rho_0$

[বাইনোমিয়াল সূত্র অনুসারে]।

অতএব শব্দের বেগ ঐ দুই তাপমাত্রায় যথাক্রমে c_0 ও c_t হইলে

$$c_t = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_t}}$$

$$c_0 = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_0}}$$

$$c_t/c_0 = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_t}} = \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

বা $$c_t = c_0\sqrt{1+\frac{t}{273}} = c_0\sqrt{\frac{273+t}{273}}$$

$$= c_0\sqrt{\frac{T}{273}}\ \left[T = t + 273\right]$$

$$\therefore c_t \propto \sqrt{T}\ ।$$

(b) শব্দের উপর চাপের প্রভাব :

বাতাসের চাপের পরিবর্তনের শব্দের বেগের উপর কোন প্রভাব নাই। চাপ বাড়িলে বা কমিলে তাহার জন্য শব্দের বেগের ব্যতিক্রম হয় না।

নির্দিষ্ট পরিমাণ বাতাসের চাপ P-এর সহিত উহার ঘনত্ব ρ সমানুপাতে পরিবর্তিত হয়। অতএব $P \propto \rho$,

$$\text{বা} \quad \frac{P}{\rho} = \text{ধ্রুবক।}$$

$\therefore$ বাতাসের বেগ $v_0 = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$ এর মান P-এর পরিবর্তন সত্ত্বেও স্থির থাকে।

(c) শব্দের বেগের উপর বাতাসের আর্দ্রতার প্রভাব :

তোমাদের হয়তে শুনিয়া আশ্চয লাগিবে, যে জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব বাতাসের ঘনত্ব অপেক্ষা কম, উহার $\frac{5}{8}$ অংশ মাত্র।

বাতাসের আর্দ্রতা বাড়িলে বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বাড়িতে থাকে, অতএব বাতাসের ঘনত্ব কমে। আবার

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$ হওয়ার ফলে শব্দের বেগ বাড়িতে থাকে।

কোন সময়ে বাতাসে জলীয় বাষ্পের চাপ f হইলে, প্রমাণ করা যায় যে

$$v_d = v_m \sqrt{1 + \frac{3}{8}\frac{f}{P}},$$

যেখানে v_m = আর্দ্র (moist) বাতাসে শব্দের বেগ,

v_d = শুষ্ক (dry) বাতাসে শব্দের বেগ

P = বাতাসের চাপ।

$$\text{অথবা} \quad v_d = v_m \sqrt{1 - \frac{3}{8}\frac{f}{P}}।$$

(d) উষ্ণতা, চাপ ও আর্দ্রতার পরিবর্তনের সম্মিলিত ফল :

কোন সময়ে বাতাসের তাপমাত্রা t সে, চাপ P ও বাতাসে জলীয় বাষ্পের চাপ f হইলে, সেই সময়ে বাতাসে শব্দের বেগ যদি v' হয়, তবে স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় (N. T. P -তে) শব্দের বেগ v নিম্নলিখিত সংকেতের সাহায্যে বাহির হইবে।

$$v = v'\sqrt{\left(1 - \frac{t}{273}\right)\left(1 - \frac{3}{8}\frac{f}{P}\right)}।$$

3.13. বিভিন্ন গ্যাসে শব্দের বেগ (Velocity of Sound in Different Gases) :

শব্দের বেগ যেহেতু গ্যাসের ঘনত্বের উপর নির্ভর করে, অতএব বিভিন্ন গ্যাসে শব্দের বেগ বিভিন্ন হইবে।

$c = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$ সংকেত অনুসারে, যে সকল গ্যাসের বেলায় γ-এর মান সমান, তাহাদের বেলায় $c \propto \frac{1}{\rho}$ ।

উদাহরণ স্বরূপ বলা যায়, অক্সিজেনের ঘনত্ব হাইড্রোজেনের ঘনত্বের 16 গুণ অতএব অক্সিজেন ও হাইড্রোজেনের ঘনত্ব যথাক্রমে ρ_O ও ρ_H হইলে, এবং উহাদের মধ্যে শব্দের বেগ যথাক্রমে c_O ও c_H হইলে,

$$c_O/c_H = \sqrt{\rho_H/\rho_O} = 1 : 4 \text{ ।}$$

অর্থাৎ একই তাপমাত্রায় শব্দের বেগ হাইড্রোজেনের মধ্যে অক্সিজেনের মধ্যের বেগ অপেক্ষা 4 গুণ।

3.14. তরলে শব্দের বেগ (Velocity of Sound in Liquids) :

$$\text{তরলে শব্দের বেগ } C = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$$

অতএব তরলের স্থিতিস্থাপকতার আয়তন গুণাংক K ও ঘনত্ব ρ জানা থাকিলে উহার মধ্যে শব্দের বেগ তাত্ত্বিক উপায়ে বাহির করা যায়।

জলের $K = 2{\cdot}1 \times 10^{10}$ ডাইন/ব. সেমি.,

এবং $\rho = 1$ গ্রাম/সিসি।

$\therefore$ জলের মধ্যে শব্দের বেগ $c = \sqrt{\frac{2{\cdot}1 \times 10^{10}}{1}} = 144900$ সেমি/সে. = 1449 মি./সে.। পরীক্ষার দ্বারাও জলে শব্দের বেগ একই বাহির হইয়াছে।

3.15. কঠিনে শব্দের বেগ (Velocity of Sound in Solids)

$$\text{কঠিন শব্দের বেগ } c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ ।}$$

এখানে E হইল কঠিনের ইয়ং গুণাংক (Young's Modulus)।

3.16. শব্দোত্তর বেগ (Supersonic Speed) :

বাতাসে শব্দের বেগ ঘণ্টায় প্রায় 700 মাইল। কোন বস্তু যখন উহা অপেক্ষা জোরে চলে তখন উহার বেগকে শব্দোত্তর বেগ বলে।

কামানের গোলা প্রথম অবস্থায় শব্দ অপেক্ষা জোরে চলে।

গত যুদ্ধে জার্মানরা যে V-2 রকেট ব্যবহার করিয়াছিল তাহার বেগ শব্দ অপেক্ষা বেশী হইত। ফলে এই রকেটের চলিবার শব্দ কানে পৌছিবার পূর্বেই রকেট তাহার লক্ষ্যস্থানে পৌছিত এবং উহার বিরুদ্ধে নিরাপত্তার ব্যবস্থা করা যাইত না।

আজকালকার যুগে জেট বিমানের গতি শব্দের বেগকে ছাড়াইয়া গিয়াছে। কোন বস্তু যখন শব্দের বেগ অতিক্রম করে তখন ইহাকে প্রবল চাপ সহ্য করিতে হয়। ইহার কারণ সহজ। বস্তুটি বাতাসে ঘনীভবন ও তনুভবন শব্দ-তরংগের সৃষ্টি করে। উহার সম্মুখে যে ঘনীভূত স্তরের সৃষ্টি হয় তাহা শব্দের বেগে অগ্রসর হয়, কিন্তু বস্তুটির বেগ আরও বেশী হওয়ায় বস্তুটি এই স্তর ভেদ করিয়া অগ্রসর হইতে বাধ্য হয়। এইজন্য শব্দ বন্ধ (Sound barrier) অতিক্রম করিবার (অর্থাৎ শব্দের বেগ পার হইবার) প্রথম সময়ের পরীক্ষায় বহু বিমানে ও রকেট এই চাপে টুকরা টুকরা হইয়া ভাঙ্গিয়া গিয়াছে। অবশেষে 1954-55 খ্রীষ্টাব্দে বিমানের পক্ষে এই বেগ অতিক্রম করা সম্ভব হইয়াছে। শব্দোত্তর গতি সম্পন্ন বস্তুর গতি বুঝাইবার জন্য 'Mach' বলিয়া একটি শব্দ সৃষ্টি করা হইয়াছে। Mach 2 বলিতে শব্দের দ্বিগুণ, 'Mach 3' বলিতে শব্দের তিনগুণ বেগ বুঝায়। আজকাল বিজ্ঞানীরা "Mach 20" বিমানের কথাও চিন্তা করিবার সাহস রাখেন।

3.17 অনুশীলনী :

(a) 0^0 সে. উষ্ণতায় ও 76 সেমি. চাপে বাতাসে শব্দের বেগ 330 মিটার/সে. ; 50^0 সে. উষ্ণতায় ও 70 সেমি. চাপে ঐ বেগ কত হইবে ?

(C. U. 1943)

বাতাসে শব্দের বেগ চাপের পরিবর্তনের উপর নির্ভর করে না, ফলে চাপের পরিবর্তনে শব্দের বেগের কোন ব্যতিক্রম হইবে না। তাপমাত্রার বৃদ্ধির জন্য (বাতাসের ঘনত্বের পরিবর্তনের ফলে) শব্দের বেগের পরিবর্তন হইবে।

$$v_t = v_0\sqrt{1+\frac{t}{273}}$$

[$v_0 = 0^0$ সে. তাপমাত্রায় শব্দের বেগ, $= 330$ মিটার/সে ; $v_t = t^0$ সে. তাপমাত্রার বেগ ; $t = 50^0$ সে.]

$$\therefore \quad v_t = 330\sqrt{1+\frac{50}{273}} = 359{\cdot}56 \text{ মিটার/সে.।}$$

(b) 0° সে উষ্ণতায় ও 74 সেমি চাপে শুষ্ক বাতাসে শব্দের বেগ 330 মি./সে ; 50° সে ও 77.5 সেমি তে শব্দের বেগ কত ?

(U P Board 1939)

$$c_t = c_0\sqrt{1+\frac{t}{273}}$$

$$c_t = 330\sqrt{1+\frac{50}{273}} = 358.9 \text{ মিটার/সে।}$$

(c) 0° সে উষ্ণতায় বাতাসে শব্দের বেগ 1080 ফুট সেকেণ্ড। প্রমাণ কর যে প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রা বৃদ্ধি হলে বেগ প্রায় 2 ফুট বাড়িবে।

(Delhi 1930)

$$c_t = c_0\sqrt{1+\frac{t}{273}}$$

$$=1080\left(1+\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{273}t\right)=1080+1.979t\text{।}$$

∴ বৃদ্ধির পরিমাণ $=1.979t$।

∴ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড বৃদ্ধির জন্য বেগের বৃদ্ধির হার 1.979 ফুট।

(d) কত তাপমাত্রায় বাতাসে শব্দের বেগ 0° সে তাপমাত্রার বেগের দ্বিগুণ হইবে ?

মনে কর t° সে উদ্দিষ্ট তাপমাত্রা এবং উহা T° অ্যা. তাপমাত্রার সমান।

$c_t \propto \sqrt{T}$ সূত্র হইতে

$$c_0 \propto \sqrt{273}$$

$$c_t \propto \sqrt{T}$$

$$\frac{c_t}{c_0} = \sqrt{\frac{T}{273}}$$

$$\sqrt{\frac{T}{273}} = 2$$

অথবা $\frac{T}{273} = 4$. ∴ $T = 1092$ অ্যা

∴ $t = 819°$ সে.

(e) একটি সুরশলাকার কম্পন-মান 256; ইহার 64 বার কম্পন হইলে শব্দ কতদূর যাইবে? বাতাসে শব্দের বেগ = 1120 ফুট/সেকেণ্ড।

256টি কম্পনের সময় = 1 সেকেণ্ড

∴ 64টি কম্পনের সময় = $\frac{1}{256} \times 64 = \frac{1}{4}$ সেকেণ্ড।

∴ এই সময় শব্দ $\frac{1}{4} \times 1120 = 280$ ফুট যাইবে।

3.18. **লাপ্লাস** (Pierre Simone, Marquis de Laplace): (1749-1827)—পৃথিবীর অন্যতম শ্রেষ্ঠ গণিতজ্ঞ ও জ্যোতির্বেত্তা। তিনি লাগ্রাঞ্জের সাহচর্যে নিউটনের গতি-তত্ত্ব সম্বন্ধে গবেষণা করেন। নক্ষত্রপুঞ্জের নীহারিকা-বাদ তাঁহারই সৃষ্টি। তাঁহার রচিত গ্রন্থগুলির মধ্যে Treatment of Celestial Mechanics ও Explanation of the System of Universe শ্রেষ্ঠ। লাপ্লাস নেপোলিয়নের অধীনস্থ কর্মচারী ছিলেন।

অষ্টাদশ শতাব্দীতে লাপ্লাস, লাগ্রাঞ্জ, ফুরিয়ের প্রভৃতির গবেষণার ফলেই গণিত-শাস্ত্রের বর্তমান উন্নতির বুনিয়াদ স্থাপিত হয়।

প্রশ্নমালা

1. বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয়ের দুইটি পদ্ধতি বর্ণনা কর। বায়ুর চাপ, উষ্ণতা ও আর্দ্রতা দ্বারা শব্দের বেগের কিরূপ পরিবর্তন হয় বল।

(এই পরিচ্ছেদে একটি ও ষষ্ঠ পরিচ্ছেদে একটি পদ্ধতি পাইবে)।

Describe two methods of determining the velocity of sound in air. How is the result affected by the change in pressure, temperature and humidity of air? (C. U. 1937, '41, '51; P. U. 1930, '43, '52)

2. বাতাসে শব্দের বেগ কিরূপে নির্ণয় করিবে? জোরে বাতাস বহিলে ফল কি একই হইবে? বাতাসের বেগের জন্য কিরূপে শুদ্ধি প্রয়োগ করিবে? শীত ও গ্রীষ্মকালে শব্দের বেগ কি একই রহিবে? উত্তরের কারণ দেখাও।

How will you determine the velocity of sound in air? Will the result be the same when strong wind is blowing? How will you eliminate the effect due to wind? Will the

result be the same in summer and in winter? Explain your answer. (U. P. B. 1931)

3. খোলা জায়গায় দুইজন পরীক্ষক A ও B এক মাইল দূরে অবস্থান করিতেছেন। A একটি কামান ছুঁড়িলেন; B কামানের শিখা দেখিলেন ও 5 সেকেণ্ড পরে উহার শব্দ শুনিলেন। বাতাসে শব্দের বেগ বাহির কর।

[1056 ফুট/সেকেণ্ড]

উপরের পরীক্ষায় নির্ণীত শব্দের বেগ কি বাতাসের বেগের দ্বারা প্রভাবিত হইবে? যদি হয় তবে বাতাসের বেগের ভ্রান্তি কিভাবে দূর করা যায়?

Two observers, 'A' & 'B', are stationed in open air, 1 mile apart. 'A' fires a gun; 'B' sees the flash, and 5 seconds later, hears the report of the gun. Calculate the velocity of sound in air.

Will the velocity, as determined in the above experiment, be affected by wind? If so, how can the effect of wind be eliminated? (H. S. 1961)

4. 10 কিলোমিটার দূরবর্তী দুইটি পাহাড়ের চূড়া A ও B-তে দুইজন পরীক্ষক দাঁড়াইয়া ছিলেন। A হইতে B-এর দিকে সেকেণ্ডে 10 মিটার বেগে বাতাস বহিতেছিল। A কামান ছুঁড়িলে B $28\frac{4}{7}$ সেকেণ্ড পরে ও B কামান ছুড়িলে A $30\frac{10}{33}$ সেকেণ্ড পরে শব্দ শুনিতে পারিবেন। বাতাসে শব্দের বেগ কত? [340 মিটার সে.]

Two observers were stationed at hill-tops A & B 10 k.m. apart. Wind was blowing 10 metres/sec. from A to B. A fired a cannon and B heard the report $28\frac{4}{7}$ seconds later whereas A heard the report from B's cannon $30\frac{10}{33}$ sec. later. Find the velocity of sound in air.

5. 2 মাইল দূরবর্তী দুইটি কেন্দ্রে দুইজন পরীক্ষক A ও B কামান লইয়া দাঁড়াইয়াছিলেন। A-এর কামান গর্জন B 9.41 সেকেণ্ড পরে ও B-এর কামান গর্জন A 9.8 সেকেণ্ড পরে শুনিতে পারিলেন। স্থির বাতাসে শব্দের বেগ 1100ফুট/সে. হইলে বাতাসের বেগ বাহির কর। [A হইতে B অভিমুখে ঘণ্টায় 15 মাইল (প্রায়)]।

Two observers A & B are stationed 2 miles apart, and are provided with guns. B hears the report from A 9·41 seconds later and A hears from B 9·8 seconds later. Given velocity of sound in still air as 1100 ft/second, find wind-speed.

6. 256 ফুট গভীর একটি ইঁদারার মধ্যে একটি পাথর ফেলিবার 4·25 সেকেণ্ড পরে উহার জলে পড়িবার শব্দ শোনা গেল। বাতাসে শব্দের বেগ কত? [1024 ফুট/সেকেণ্ড]

A stone is dropped into a well 256 ft. deep, and the splash is heard 4·25 second later. Find the velocity of sound in air.

7. জলে শব্দের বেগ নির্ণয়ের কোন পদ্ধতি বর্ণনা কর।

9 মাইল দূরবর্তী দুইটি নৌকার সাহায্যে জলে শব্দের বেগের পরীক্ষা হইতেছিল। একটি নৌকা হইতে জলের মধ্যে ঘণ্টা বাজানো হইলে দ্বিতীয় নৌকায় 9·5 সেকেণ্ড পরে উহার শব্দ শোনা গেল। জলে শব্দের বেগ কত? [5002·1 ফুট/সেকেণ্ড]

Describe a method to determine the velocity of sound in water.

Two boats placed 9 miles apart were used to determine the velocity of sound in water. The sound of a bell, rung inside water from one boat, reached the other boat 9·5 seconds later. Find the velocity of sound in water.

8. বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয়ের জন্য নিউটনের সংকেত লিখ। কেন উহাতে শুদ্ধ ফল আসে না? ল্যাপ্লাসের শুদ্ধি বর্ণনা কর ও এই উপায়ে শব্দের বেগ বাহির কর।

Give Newton's formula for determining the velocity of sound in air. Why does the formula fail to give correct result? State Laplace's correction and calculate the velocity according to the formula.

(C. U. 1937, '49, '57 ; P. U. 1947)

9. শব্দের বেগের উপরে বাতাসের বেগ, চাপ, উষ্ণতা ও আর্দ্রতার ফলগুলি মোটামুটি বর্ণনা কর।

Discuss, in general terms, the effect of wind-speed, pressure, temperature and humidity on the velocity of sound in air (C. U 1950 ; cf. C U 1937, '49, '57 P U. 1921, '40 ; U. P B 1937, '44)

10 0 সে. উষ্ণতায় বাতাসে শব্দের বেগ 1090 ফুট/সেকেণ্ড হইলে 20 সে উষ্ণতায় ও 77 সেমি চাপে একটি রেলওয়ে টানেলের মধ্যে শব্দের বেগ কত হইবে ? [1130 ফু./সে]

Given that velocity of sound in air at 0 C is 1090 ft./sec, find the velocity in a wind-tunnel at 20 C and 77 cm. mercury. (U P B 1937)

11 0 সে. উষ্ণতায় 76 সেমি চাপে বাতাসে শব্দের বেগ 330 মিটার/সেকেণ্ড হইলে 27 সে তাপমাত্রায় ও 74 সেমি চাপে বেগ কত হইবে ?

[346 3 মিটার/সেকেণ্ড]

If the velocity of sound in air at 0°C and 76 cm of mercury is 330 metres second, calculate the velocity at 27 C and 74 cm pressure (C U. 1935)

12 একটি কামানের শিখা ও গর্জনের মধ্যে 10 সেকেণ্ড অবকাশ গেল। বাতাসের তাপমাত্রা 15 সে হইলে কামানের দূরত্ব কত ? (0 সে উষ্ণতায় শব্দের বেগ = 332 মিটার/সেকেণ্ড)। [3411.5 মিটার]

10 Seconds have elapsed between the flash and report of a gun What is its distance, the temperature of air being 15 C_0 ? (Velocity of sound in air at 0 C_0 = 332 metres sec).

13 একটি লোহার পাইপের এক প্রান্তে এক ব্যক্তি কান রাখিয়াছেন ও অন্য প্রান্তে এক কারিগর হাতুড়ি দিয়া ঠুকিতেছেন। শ্রোতা দুইটী শব্দ শুনিবেন। কেন ?

Explain . If an observer places his ear close to one end of a long iron pipe-line, he can hear two distinct

sounds, when a workman hammers the other end of the pipe-line. (C. U. 1950)

14. হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের ঘনত্ব 1 : 16 ; উহাদের মধ্যে শব্দের বেগের অনুপাত কত ? . [1 : 4]

The densities of hydrogen and oxygen are in the ratios of 1 : 16 ; what is the ratio of the velocities of sound through them ? (C. U. 1912)

15. লোহার ইয়ং গুণাংক 20×10^{11} ডাইন/ব. সেমি. ও ঘনত্ব 7.56 গ্রাম/সিসি.। লোহায় শব্দের বেগ কত ? [5143 মিটার/সে.]

The Young's Modulus of iron 20×10^{11} dynes/cm. and its density 7.56 gm/cc. Find the velocity of sound in air.

16. শব্দোত্তর বেগ সম্বন্ধে যাহা জান সংক্ষেপে লিখ।

একটি রকেটের বেগ "ম্যাক্ 8·2"। উহা কত মাইল বেগে চলিতেছে ? শব্দের বেগ 1120 ফুট/সে. ধরিয়া লও। [6261·8 মাইল/ঘণ্টা]

Write in brief what you know about supersonic speed.

A roket has a speed specified as "Mach 8·2 Find its speed in miles per hour. Assume velocity of sound=1120 ft/sec.

চতুর্থ পরিচ্ছেদ
শব্দের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ
(Reflection and Refraction of Sound)

4.1. তোমরা যখন আরও ছোট ছিলে তখন প্রায়ই এক মজার খেলা খেলিয়াছ। বড় বাড়ির সামনে দাঁড়াইয়া যখন চীৎকার করিয়াছ, তখন নিশ্চয়ই তোমার চীৎকারে বাড়ীর ভিতর হইতে কে সাড়া দিয়াছে। বড় হইয়া শুনিয়াছ, শব্দ প্রতিধ্বনি হইয়া ফিরিয়া আসিয়াছে।

4.2. **শব্দ-তরংগের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ (Reflection & Refraction of Sound Waves) :**

কোন সমসত্ব মাধ্যম দিয়া যাইতে যাইতে শব্দ তরংগ যখন অন্য মাধ্যমের উপরে আপতিত হয় তখন উহার এক অংশ পুনরায় প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে, কিছুটা শোষিত হয় ও অন্য অংশ দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করে।

শব্দের যে অংশ প্রথম মাধ্যমে পুনঃপ্রবেশ করে তাহাকে প্রতিফলিত শব্দ বলে, আর যে অংশ দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করে, তাহাকে প্রতিসৃত শব্দ বলে।

শব্দের প্রতিফলন ও প্রতিসরণের উদাহরণ তোমরা দেখিতে পাইবে। পাহাড়ে পর্বতে, বড় হলঘরে যে প্রতিধ্বনি শোনা যায় তাহা শব্দের প্রতিফলনের উদাহরণ।

পুকুরে মাছ ধরিতে যাইবার সময় জলাশয়ের ধারে গোলমাল করিতে বারণ করা হয়। পুকুর পাড়ে দাঁড়াইয়া লোকে যে কথা বলিবে তাহা প্রতিসৃত হইয়া জলে প্রবেশ করে। জলে ডুব দিয়া কথা বলিলে তাহা জলের উপর হইতে শোনা যায়।

4.3. **শব্দ ও আলোকের তুলনা :**

শব্দ ও আলোক উভয়েই শক্তির বিভিন্ন প্রকাশ-ভংগী, উভয়েই তরংগের আকারে পরিভ্রমণ করে। তবে শব্দ অনুদৈর্ঘ্য তরংগের আকারে ও আলোক তির্যক-তরংগের আকারে সঞ্চালিত হয়। তা-ছাড়া শব্দের তরংগ-দৈর্ঘ্য আলোকের তরংগের দৈর্ঘ্যের অপেক্ষা বহু গুণ বড়; আর শব্দ বাস্তব মাধ্যম ছাড়া চলিতে পারে না, কিন্তু আলোক শূন্য দিয়াও সঞ্চালিত হয়।

4.4. শব্দের প্রতিফলনের নিয়ম :

শব্দ-তরংগের গতিপথ বুঝাইবার জন্য উহাকে তীর চিহ্নিত রেখা দ্বারা নির্দেশ করা হয়। এই রেখাগুলিকে **শব্দ-রশ্মি** (Sound Rays) বলা হয়।

যে বস্তুর পৃষ্ঠ হইতে শব্দ-রশ্মির প্রতিফলন হয়, তাহাকে প্রতিফলক (Reflector) বলে। শব্দের তরংগ দৈর্ঘ্য বড় বলিয়া প্রতিফলকের আকার খুব বড় হইতে হয় ; তবে উহা খুব চকচকে না হইলেও চলে। পর্বত, বাড়ির দেওয়াল, গাছের সারি প্রভৃতি শব্দ রশ্মির প্রতিফলকের কাজ করিতে পারে।

শব্দ-রশ্মি প্রতিফলনের সময়ে দুইটি সূত্র মানিয়া চলে—

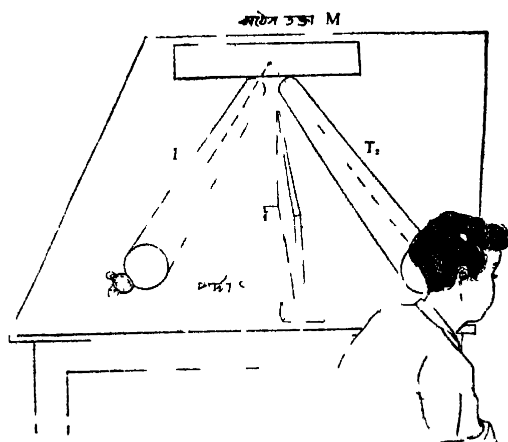
(i) আপতিত রশ্মি-অভিলম্ব ও প্রতিফলিত রশ্মি মোটামুটি এক সমতলে থাকে তবে সূত্রটিকে মোটামুটি সত্য বলা ছাড়া উপায় নাই, কারণ আলোক-তরংগের ন্যায় শব্দ-তরংগকে একটি সুনির্দিষ্ট অভিমুখ দেওয়া বা একটি নির্দিষ্ট সমতলে আপতিত করা দুরূহ ব্যাপার।

(ii) আপতন কোণ অর্থাৎ আপতিত রশ্মি ও প্রতিফলকের পৃষ্ঠের উপরে আপতন বিন্দুতে অংকিত অভিলম্বের মধ্যের কোণ এবং প্রতিফলন কোণ, অর্থাৎ প্রতিফলিত রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যের কোণ সমান।

4.5. সমতল পৃষ্ঠে প্রতিফলন ও প্রতিফলনের সূত্রের প্রমাণ :

নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা প্রতিফলনের সূত্রগুলি প্রমাণ করা যায়।

পরীক্ষা : টেবিলের উপরে একটি কাঠের তক্তা (প্রায় 4 ফুট দীর্ঘ ও 1 ফুট উচ্চ) M খাড়া করিয়া বসানো হয় (চিত্র 4.1)। তক্তার সামনে একটি ফাঁপা কাচ বা টিনের নল T, টেবিলের উপরে এমন ভাবে রাখা হয় যে উহা যেন তক্তার সহিত সূক্ষ্মকোণে থাকে। এই নলের সম্মুখে একটি ছোট পকেট-ঘড়ি রাখা



4.1

হয় যেন পকেট ঘড়ির শব্দ-তরংগ নলের মধ্য দিয়া সোজা কাঠের তক্তার উপরে আপতিত হয়। T_1 নলের ন্যায় আর একটি নল T_2 টেবিলের উপরে এমন ভাবে বসানো হয় যে তক্তার উপর অঙ্কিত লম্বের যে পাশে T_1 থাকে তাহার বিপরীত পাশে T_2 বসে। T_1 ও T_2-এর মধ্যে একটি মোটা উঁচু পর্দা S তক্তার সহিত লম্বভাবে রাখা হয় যেন ঘড়ির শব্দ সোজাসুজি T_2-এর দিকে চলিয়া না আসে।

এখন T_2 নলের মুখে কান পাতিয়া নলটিকে আস্তে আস্তে নাড়ানো হয় যেন উহা কাঠের তক্তার সহিত যে কোণ করিতেছে তাহা পরিবর্তিত হইতে থাকে। দেখা যাইবে যে ঘড়ির টিক্ টিক শব্দ খুব মৃদু হইতে ক্রমে ক্রমে জোরালো হইয়া আবার মৃদু হইয়া যায়। T_2-কে ঘুরাইয়া শব্দের উচ্চতম প্রাবল্যের অবস্থানে রাখা হয়। এই অবস্থায় দেখা যাইবে যে T_1 ও S এর মধ্যের কোণ এবং T_2 ও S-এর মধ্যের কোণ সমান। প্রথম কোণটি আপতন কোণ ও দ্বিতীয় কোণটি প্রতিফলন কোণ, ইহা তোমরা বুঝিতে পারিতেছ। অতএব দ্বিতীয় সূত্রের প্রমাণ হইল।

T_1 নলের অবস্থান পরিবর্তন করিয়া বিভিন্ন আপতন কোণের জন্য পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি করা হয়।

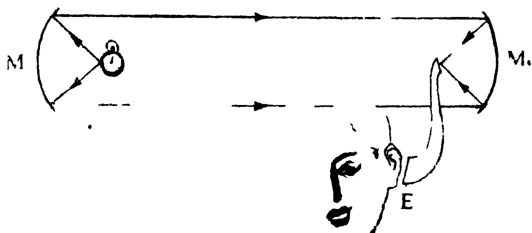
এখন T_2 নলটির কোণ স্থির রাখিয়া উহাকে টেবিল হইতে উঠাইয়া লইলে দেখা যাইবে যে ঘড়ির শব্দ মৃদু হইয়া গিয়াছে। অতএব, আপতিত শব্দ-রশ্মি ও অভিলম্ব উভয়ে টেবিলের পৃষ্ঠের তলে অবস্থান করে বলিয়া প্রতিফলিত রশ্মিও সেই তলেই থাকিবে। কাজেই প্রথম সূত্র প্রমাণিত হইল।

দ্রষ্টব্য ঃ পরীক্ষার সময়ে দেখা যাইবে যে প্রতিফলন কোণ আপতন কোণ হইতে যখন পৃথক, তখনও ঘড়ির আওয়াজ কিছুটা মৃদু ভাবে শোনা যাইতেছে। আবার T_2 নলকে টেবিলের তল হইতে ঘুরাইয়া লইলেও সামান্য মৃদু শব্দ কানে আসে। ইহার কারণ পূর্বেই বলা হইয়াছে, তবুও আবার বলিতেছি, শব্দ-তরংগকে একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে বা নির্দিষ্ট সমতলে আবদ্ধ করা শক্ত। কাজেই আপতিত শব্দ-তরংগের অধিকাংশ T_1 নলের সমান্তরাল পথে অগ্রসর হইলেও কিছুটা অংশ ঐ নল দিয়াই ভিন্ন অভিমুখেও যায়, সেই অংশের আপতন কোণ পৃথক হয়, ফলে তাহার প্রতিফলন কোণও আলাদা হইয়া যায় ও T_2 নলের বিভিন্ন অবস্থানে তাহা ধরা পড়ে। সেইরূপই শব্দের মূল অংশ টেবিলের তলে থাকিলেও কিছুটা অন্য তলেও পরিভ্রমণ করে।

4.6. অবতল পৃষ্ঠে শব্দের প্রতিফলন (Reflection of Sound at Concave Surfaces) :

দর্পণের সাহায্যে শব্দের প্রতিফলনের সুন্দর উদাহরণ দেওয়া যায়।

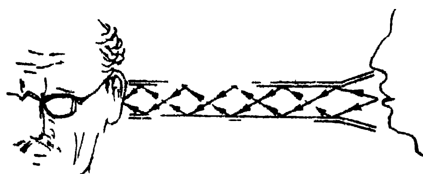
পরীক্ষা। টেবিলের উপর দুইটি বড় অবতল দর্পণ M_1 ও M_2 পরস্পর হইতে কিছু দূরে মখোমুখি বসান হয়। M_1 দর্পণের ফোকাসে একটি ছোট পকেট ঘড়ি রাখা হয়। দ্বিতীয় দর্পণের ফোকাসে একটি চোঙা রাখা হয ও চোঙার অপর মুখে কান দিলে ঘড়ির আওয়াজ বেশ জোরে শোনা যায়। চোঙটি M_2 দর্পণের ফোকাস হইতে সরাইয়া লইলে আওয়াজ মৃদু হইবা যায।



4·2

4 7 শব্দের প্রতিফলনের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ (Some Practical Applications of Reflection of Sound) :

(a) **কথন-টিউব** (Speaking Tube), **কর্ণভেরী** (Ear-trumpet), ডাক্তারের ষ্টেথেস্কোপ (Stethoscope) প্রভৃতি যন্ত্রে শব্দের প্রতিফলনকে ব্যবহার করা হয়। এই সকল যন্ত্রে একটি নলের সহিত একটি চোঙ সংযুক্ত থাকে। চোঙের মুখে শব্দ পড়িলে তাহা বাহিরে ছড়াইয়া না পড়িয়া নলের মধ্যে প্রতিফলিত হইতে হইতে নলের অপর প্রান্তে আসে। যে শক্তিটা চারিপাশে ছড়াইয়া পড়িত তাহা অল্প স্থানে সীমাবদ্ধ হইয়া যায় বলিয়া নলের প্রান্তে শব্দ জোরালো হয়।


4 3

কথন-টিউবের ব্যবহার কারখানায় বা জাহাজে হয়। জাহাজ বিভিন্ন শব্দের মধ্যে ক্যাপ্টেন বা ইঞ্জিনীয়ারের নির্দেশ শোনা মুশকিল। তাহা ছাড়া নিদেশ-দাতা যেখানে থাকেন, নাবিক হয়তো সে স্থান হইতে

দূরে থাকে। সেজন্য কথন-টিউবে নির্দেশ দেওয়া হয় ও তাহা দূরে চলিয়া যায়!

কানে যাহারা কম শোনেন তাহারা **কর্ণভেরী** ব্যবহার করেন।

ডাক্তার রোগীর বুক পরীক্ষা করেন **ষ্টেথেসকোপের** সাহায্যে।

(b) বৃদ্ধ মানুষ কথা শুনিবার জন্য, কিংবা স্বাভাবিক মানুষও দূরের ক্ষীণ শব্দ শুনিবার জন্য কানের সম্মুখে হাতকে চোঙার মত করিয়া ধরেন। ইহার ফলে অনেকগুলি শব্দ-রশ্মিকে হাতের তালুতে প্রতিফলিত করিয়া অভিসারী করা যায়।

(c) বক্তৃতা-কক্ষের ছাদ অনেক সময়ে গম্বুজের (arch) মত করা থাকে ইহাতে শব্দ-রশ্মির প্রতিফলন হইয়া জোর বাড়ে।

(d) সিনেমা হলের দেওয়ালে শব্দের প্রতিফলনের ফলে কথোপকথন শুনিতে অসুবিধা হয়। সেজন্য ঘরের দেওয়ালে নির্দিষ্ট কতকগুলি কোণ বা খাঁজ কাটা থাকে। তাহা ছাড়া ঘরে নরম পর্দা টাঙাইয়া দেওয়া হয়। নরম পর্দা শব্দকে প্রতিফলিত না করিয়া শোষণ করিয়া লয়।

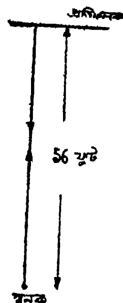
(e) গির্জায় মঞ্চের পিছনে অনেক সময়ে অবতল দর্পণ রাখা হয়, ইহা পাদ্রির বক্তৃতার শব্দ-রশ্মিকে প্রতিফলিত করিয়া সামনে পাঠাইয়া দেয়।

4.8. প্রতিধ্বনি (Echo) :

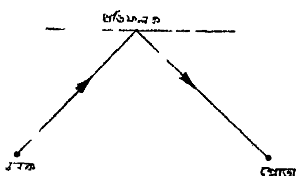
কোন প্রতিফলক হইতে ফিরিয়া আসা শব্দ বা ধ্বনিকেই যখন পৃথক করিয়া কানে ধরা যায় তখন সেই প্রতিফলিত শব্দকে প্রতিধ্বনি বলে। পাহাড়ে, খোলা মাঠে গাছের সারি বা বৃহৎ অট্টালিকা হইতে কিছু দূরে, নদীর এক তীরে, অবস্থান করিয়া কোন শব্দ করিলে উহা প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসে ও বক্তা নিজে বা অন্য কোন শ্রোতা তাহা শুনিতে পায়। পাহাড়, গাছের সারি, বড় বাড়ি প্রভৃতি প্রতিফলকের কাজ করে।

কোন শব্দ যখন কানে পৌঁছায়, তখন শব্দ বন্ধ হইয়া যাইবার পরও মস্তিষ্কে ঐ শব্দের অনুভূতি আরও $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড থাকিয়া যায়। শব্দটি যে বন্ধ হইয়া গিয়াছে তাহা এই সময়ে বুঝিতে পারা যায় না। এই সময়-কালকে শব্দনির্বন্ধ (persistence of hearing) বলা হয়। কাজেই কোন শব্দের প্রতিধ্বনি যদি এই সময়ের মধ্যে ফিরিয়া আসে তবে শ্রোতা মূল শব্দ হইতে প্রতিধ্বনিকে পৃথক করিয়া ধরিতে পারে না, প্রতিধ্বনি তাহার কাছে মূল শব্দের অংগ বলিয়া

মনে হয়। শব্দ বাতাসে সেকেণ্ডে 1120 ফুট চলিতে পারে। কাজেই $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডে শব্দ 112 ফুট চলিতে পারে। $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডে শব্দ 112 ফুট যায়। সুতরাং শব্দের অভিলম্ব আপতনের ক্ষেত্রে, প্রতিফলক যদি 56 ফুট বা তহার চেয়ে বেশী দূরে থাকে, কেবলমাত্র তখনই শব্দ যাতায়াতের পথে 112 ফুট বা তাহার বেশীর দূরত্ব যায় ফলে শব্দ ও উহার প্রতিধ্বনির মধ্যে $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড বা তাহার বেশী অবকাশ থাকে। অতএব কেবল এই ক্ষেত্রেই প্রতিধ্বনিকে মূল শব্দ হইতে পৃথক করিয়া ধরা যায়। সুতরাং প্রতিধ্বনি শুনিতে গেলে অভিলম্ব আপতনের ক্ষেত্রে স্বনক হইতে প্রতিফলকের দূরত্ব কমপক্ষে 56 ফুট হওয়া উচিত (চিত্র 4.4)



4.4



4.5

তবে যদি শব্দ তির্যক ভাবে আপাতিত হয়, তবে প্রতিধ্বনি শুনিবার জন্য প্রতিফলকের দূরত্ব কম হইলেও চলে, কিন্তু উহা এমন হওয়া উচিত যে শব্দের মোট সরণ 112 ফুট বা তদপেক্ষা বেশী হয় (চিত্র 4.5)।

উচ্চারিত শব্দ (Articulate Sound) : কোন ব্যক্তি যদি কতকগুলি অক্ষর (alphabet) বা বাক্য উচ্চারণ করে তখন তাহার শব্দকে উচ্চারিত শব্দ বলা হয়। কিন্তু হঠাৎ চীৎকার, বন্দুকের আওয়াজ, বাসনের মাটিতে পড়িবার ঝন্ ঝন্ শব্দ প্রভৃতিকে অনুচ্চারিত শব্দ (Inarticulate Sound) বলা হয়।

অনুচ্চারিত শব্দের বেলায় অভিলম্ব আপতনের ক্ষেত্রে প্রতিফলকের ন্যূনতম দূরত্ব 56 ফুট হওয়া উচিত। কিন্তু উচ্চারিত শব্দের বেলায় প্রতিফলিত শব্দের দূরত্ব আরও বেশী হওয়া দরকার। কোন ব্যক্তি যখন কথা বলেন তিনি সেকেণ্ডে 5টির বেশী শব্দাংশ (syllable) উচ্চারণ করিতে পারেন না। একই রূপে কোন ব্যক্তি সেকেণ্ডে 5-টির বেশী শব্দাংশ শুনিতে পারেন না (অর্থাৎ শুনিলে অর্থ উপলব্ধি করিতে পারেন না)। সুতরাং প্রতিটি শব্দাংশ উচ্চারণ করিতে $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড লাগে এবং শুনিতেও $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড লাগে। এই সময়ের মধ্যে শব্দের প্রতিধ্বনি আসিলে উহা মূল শব্দের সহিত মিশিয়া যায়। কিন্তু বক্তা একটি শব্দাংশের উচ্চারণ শেষ করিয়া পরবর্তী শব্দাংশটি যখন উচ্চারণ করিতেছেন তখন

যদি পূর্ববর্তী শব্দাংশের প্রতিধ্বনি কানে পৌঁছায় তবে উহা স্পষ্ট বুঝিতে পারা যায়। $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ডে শব্দ $1120 \times \frac{1}{5} = 224$ ফুট যায়। অতএব অভিলম্ব আপতনের ক্ষেত্রে প্রতিফলকের দূরত্ব ন্যূনপক্ষে 112 ফুট হইলে তবেই প্রতিধ্বনি শোনা যায়।

কেহ যদি একাধিক শব্দাংশ-বিশিষ্ট (polysyllabic) শব্দ উচ্চারণ করেন (উদাহরণ স্বরূপ বলা যায় Se'co'nd'ary'—চারটি শব্দাংশ আছে), তবে প্রতিফলকের দূরত্ব 112 ফুট হইলে কোন শব্দাংশের প্রতিধ্বনি তাহার পরবর্তী শব্দাংশ উচ্চারণের সময়ে ফিরিয়া আসে, সেজন্য সেক্ষেত্রে বক্তা মাত্র শেষ শব্দাংশের প্রতিধ্বনি পৃথক-ভাবে শুনিতে পাইবেন, মধ্যবর্তী শব্দাংশগুলি উচ্চারিত শব্দাংশের সহিত মিশিয়া যাইবে। এই ধরণের প্রতিধ্বনিকে একক শব্দাংশিক প্রতিধ্বনি (Monosyllabic Echo) বলে। কিন্তু যদি প্রতিফলকের দূরত্ব= শব্দাংশের সংখ্যা × 112 ফুট হয় তবে শেষ শব্দাংশ উচ্চারণের সমাপ্তির পরই মাত্র প্রথম শব্দাংশের প্রতিধ্বনি ফিরিয়া আসিবে ; সেজন্য এইরূপ ক্ষেত্রে গোটা শব্দের প্রতিধ্বনিই শোনা যায়। উপরে secondary শব্দটিতে 4-টি শব্দাংশ আছে। সুতরাং ইহা উচ্চারণে $\frac{4}{5}$ সেকেণ্ড সময় যায়। $\frac{4}{5}$ সেকেণ্ডে শব্দ $\frac{4}{5} \times 1120 = 896$ ফুট যায়। সুতরাং প্রতিফলক 448 ফুট দূরে থাকিলে প্রথম শব্দাংশের প্রতিধ্বনি ফিরিয়া আসিতে $\frac{4}{5}$ সেকেণ্ড সময় নেয়, এবং ইতিমধ্যে গোটা শব্দের উচ্চারণ সম্পূর্ণ হইয়া যায়। ফলে সমস্ত শব্দটি প্রতিধ্বনি হইয়া ধরা পড়ে। এই ধরণের প্রতিধ্বনিকে বহু-শব্দাংশের প্রতিধ্বনি (Polly-syllabic Echo বলে)।

দ্বিশব্দাংশিক প্রতিধ্বনি (Di-syllabcic Echo) অর্থাৎ যেখানে প্রতিধ্বনির মধ্যে শেষ দুইটি শব্দাংশ ধরা পড়ে) সৃষ্টির জন্য প্রতিফলক $2 \times 112 = 224$ ফুট দূরে থাকিবে, ত্রি-শব্দাংশিক প্রতিধ্বনির (Tri-syllabic Echo) জন্য প্রতিফলক $3 \times 112 = 336$ ফুট দূরে থাকিবে।

প্রতিনাদ (**Reverberation**) : বড় ফাঁকা হল-ঘরের মধ্যে কথা বলিলে কেমন গম্‌গম্ শব্দ হয় দেখিয়াছ। এখানে দেওয়াল হইতে শব্দ প্রতিফলিত হইয়া যখন আসে তখন উহারা মূল শব্দের সহিত একসংগে কানে ঢোকে না, কিন্তু $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড সময় পরেও ঢোকে না, যাহাতে প্রতিধ্বনি বলিয়া গণ্য হইতে পারে। এখানে এই প্রতিফলিত শব্দ মূল শব্দের সহিত মিশিয়া মূল শব্দটিকে দীর্ঘস্থায়ী করে।

বিভিন্ন দেওয়াল হইতে প্রতিফলন বিভিন্ন সময়ে হয় বলিয়া গম্‌গম্ আওয়াজ

হয়। **এইরূপ প্রতিফলনকে প্রতিনাদ (Reverberation) বলে।** ছোট ঘরের দেওয়াল কাছে বলিয়া সেখানে প্রতিফলিত শব্দ মূল শব্দের সহিত প্রায় একসংগেই আসে। সেজন্য ছোট ঘরে প্রতিনাদ হয় না। হল-ঘরে যদি বেশী লোক থাকে, তবে শব্দের শোষণ হয় বলিয়া প্রতিনাদ কম হয়।

বহু প্রতিধ্বনি (Multiple Echoes) : যেখানে শব্দের একাধিক তল হইতে প্রতিফলন সম্ভব, কিংবা একই তলে শব্দ কয়েকবার প্রতিফলিত হইতে পারে, সেখানে পরপর অনেকগুলি প্রতিধ্বনি শোনা যায়।

মনে কর কোন ব্যক্তি দুইটি সমান্তরাল পাহাড় A ও B-এর মধ্যে দাড়াইয়া আছেন (চিত্র নং 4·9-পৃ : 62)। তিনি যদি একটি বন্দুক ছোঁড়েন তবে উহার শব্দ A ও B হইতে প্রতিফলিত হইবে ও তিনি দুইটি প্রতিধ্বনি শুনিবেন। আবার A হইতে প্রতিফলিত শব্দ B-তে এবং B হইতে প্রতিফলিত শব্দ A-তে পুনরায় প্রতিফলিত হইবে এবং আরও প্রতিফলনের সৃষ্টি হইবে। এইরূপে পরপর বহু প্রতিধ্বনি সম্ভব হয়। শব্দের গমন-পথ ও প্রতিফলকের পৃষ্ঠে শোষণের জন্যই শেষে প্রতিধ্বনি ক্ষীণ হইয়া যায়।

মেঘের গুরুগুরু ধ্বনি প্রথম একটি বিদ্যুৎ-চমক হইতে সৃষ্টি হয়। সেই শব্দটিই মেঘ হইতে মেঘে প্রতিফলিত হইয়া দীর্ঘ শব্দের সৃষ্টি করে।

4.9 প্রতিধ্বনির সাহায্যে শব্দের বেগ নির্ণয় :

প্রতিধ্বনির সাহায্যে শব্দের বেগ নির্ণয় করা সম্ভব। পরীক্ষক কোন প্রতিফলক হইতে d দূরে দাঁড়াইয়া আছেন। এখন পরীক্ষক একটি বন্দুক ছুঁড়িলেন ও ঘড়িতে সময় দেখিলেন। শব্দের প্রতিধ্বনি যখন তাঁহার কানে পৌঁছিল তখন তিনি আবার ঘড়ি দেখিলেন। মনে কর শব্দের সৃষ্টি ও উহার প্রতিধ্বনির মধ্যে অবকাশ t সেকেণ্ড।

তাহা হইলে t সেকেণ্ডে শব্দ d দূরে গিয়া প্রতিফলকে আপতিত হয় ও প্রতিফলনের পরে আবার d দূরত্ব ফিরিয়া আসে।

অতএব t সেকেণ্ডে শব্দ 2d দূরত্ব যায়।

$\therefore$ 1 সেকেণ্ডে শব্দ $\frac{2d}{t} = c$ দূরত্ব যায়। ইহাই শব্দের বেগ।

4.10. প্রতিধ্বনির সাহায্যে প্রতিফলকের দূরত্ব নির্ণয় :

পরীক্ষক কোন শব্দ করিলেন এবং উহার ও প্রতিধ্বনির মধ্যে অবকাশ মাপিলেন। মনে কর এই অবকাশ $= t$ সেকেণ্ড।

প্রতিফলকের দূরত্ব d হইলে, ও শব্দের বেগ c হইলে,

$$ct = 2d$$

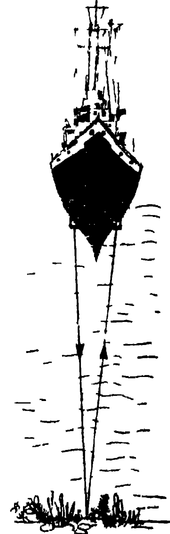
$$\therefore \frac{ct}{2} = d\text{।}$$

4.11. প্রতিধ্বনির সাহায্যে সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয় (Echo Depth-Sounding) ঃ মনে কর কোন স্থানে সমুদ্রের গভীরতা d ফুট ও জলে শব্দের বেগ v ফুট সেকেণ্ড। কোন জাহাজের নীচ হইতে কোন বিস্ফোরণের শব্দ যদি জলের মধ্যে প্রেরণ করা হয় তবে সমুদ্রতল হইতে তাহার প্রতিধ্বনি t সেকেণ্ড পরে ফিরিলে $vt = 2d$

$$\therefore d = \frac{vt}{2}\text{।}$$

তবে সাধারণ শব্দ-তরংগকে (যেমন বিস্ফোরণের শব্দ) সমুদ্রের গভীরতা মাপিবার কাজে ব্যবহার করিতে অসুবিধা হয় যে এই শব্দ-তরংগ নির্দিষ্ট অভিমুখে প্রেরণ করা শক্ত। ফলে ইহা বিভিন্ন দিকে যায় ও সেই সমস্ত দিকে কোন প্রতিফলক পাইলে উহা হইতে ফিরিয়া আসে। মাছের বায়ুপূর্ণ কান্‌কো পর্যন্ত শব্দের প্রতিফলকের কাজ করে।

এই জন্য আজকাল সমুদ্রের গভীরতা মাপিবার জন্য উচ্চকম্পাংক বিশিষ্ট শব্দ-তরংগ, এমন কি শব্দোত্তর তরংগ ব্যবহার করা হয়। এই শব্দ-তরংগের কম্পাংক সাধারণতঃ 15000 হইতে 30000 কম্পন/সেকেণ্ড হয়। এই তরংগের সুবিধা এই যে ইহাকে নির্দিষ্ট অভিমুখে প্রেরণ করা যায়।



4·6

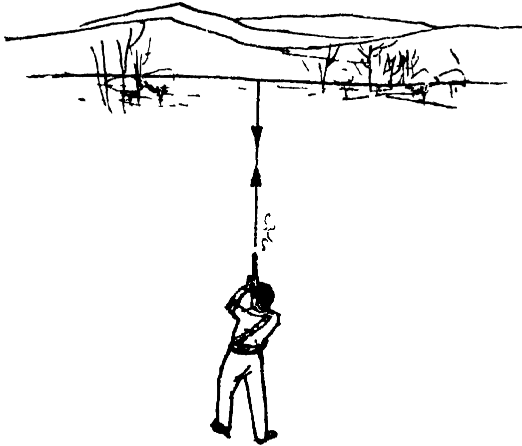
জাহাজের নীচে হাইড্রোফোন নামক প্রেরক যন্ত্র থাকে। এই যন্ত্রের সাহায্যে সমুদ্রের নীচের দিকে শব্দ-তরংগ প্রেরণ করা হয়।

সাধারণতঃ প্রায় 1 সেকেণ্ড পর পর কতকগুলি তরংগ পাঠানো হয়। অসিলোস্কোপ বা অন্য বৈদ্যুতিক যন্ত্রে প্রেরণের সময় মাপা হয়। একটি গ্রাহক যন্ত্রে (এটিও হাইড্রোফোন) সমুদ্র-তল হইতে প্রতিফলিত তরংগ ধরা পড়ে ও বৈদ্যুতিক যন্ত্রের সাহায্যে উহার আসিবার সময় মাপা হয়। দুই সময়ের মধ্যের অবকাশ হইতে জলে শব্দের বেগ (প্রায় 4900 ফুট) জানা থাকিলে সমুদ্রের গভীরতা মাপা যায়।

এই প্রক্রিয়ায় কয়েক সহস্র ফুট হইতে কয়েক মাইল পর্যন্ত দূরত্ব মাপা সম্ভব হইয়াছে। প্রশান্ত মহাসাগরের একস্থানে এই প্রণালীতে 35630 ফুট গভীরতা পাওয়া গিয়াছে। একই প্রক্রিয়ায় সমুদ্রের মধ্যে মাছের ঝাঁকের অবস্থান নির্ণয় করা যায়।

সমুদ্র-তলে কোথাও কোন নিমগ্ন পাহাড় কিংবা জাহাজের অবস্থান যদি জানিতে হয়, তবে সাধারণতঃ একটি হাইড্রোফোনকে প্রেরক ও গ্রাহক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। হাইড্রোফোনটিকে যন্ত্রের সাহায্যে ঘুরানো হইতে থাকে। প্রতিফলিত শব্দের অভিমুখ ও সময় হইতে নিমগ্ন বস্তুর অবস্থান জানা যায়।

4.12. অনুশীলন ঃ



4·7

(a) একব্যক্তি একটি পাহাড়ের সম্মুখে দাঁড়াইয়া বন্দুকের শব্দ করিলেন। শব্দের প্রতিধ্বনি তাঁহার কানে 3·2 সেকেণ্ড পরে পৌঁছিল। পাহাড়ের দূরত্ব 1832 ফুট হইলে বাতাসে শব্দের বেগ কত ?

মনে কর শব্দের বেগ c। শব্দ 3·2 সেকেণ্ডে পাহাড় পর্যন্ত গিয়া আবার ফিরিয়া আসিল অর্থাৎ 2×1832 ফুট দূরত্ব অতিক্রম করিল।

তাহা হইলে $c \times 3.2 = 2 \times 1832$ ফুট

$$c = \frac{2 \times 1832}{3.2} \frac{\text{ফু.}}{\text{সে.}} = 1145 \text{ ফুট/সেকেণ্ড।}$$

(b) থামিয়া থাকা একটি রেল ইঞ্জিনের বাঁশির শব্দের প্রতিধ্বনি ড্রাইভার 2·1 সেকেণ্ড পরে শুনিতে পাইবেন। প্রতিফলকের দূরত্ব কত? (শব্দের বেগ = 1100 ফুট/সেকেণ্ড)।

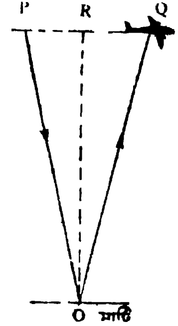
2·1 সেকেণ্ডে শব্দ $2·1 \times 1100 = 2310$ ফুট যায়।

প্রতিফলকের দূরত্ব d হইলে,

$2d = 2310$ ফুট,

অথবা $d = 1155$ ফুট।

(c) কোন এরোপ্লেনের পাইলট শূন্যে 120 মাইল/ঘণ্টা বেগে চলিতে চলিতে একটি কামান ছুড়িলেন। মাটি হইতে শব্দের প্রতিধ্বনি তিনি 3 সেকেণ্ড পরে শুনিলেন। এরোপ্লেনটির উচ্চতা কত? (বাতাসে শব্দের বেগ = 1120 ফুট/সেকেণ্ড)।



4·8

এরোপ্লেনটি স্থির ছিলনা, সুতরাং শব্দের প্রতিফলন অভিলম্ব পথে পাইলটের কানে পৌঁছিবেনা।

মনে করা যাক্ এরোপ্লেনটি প্রথমে P অবস্থানে ছিল এবং পাইলট যখন প্রতিধ্বনি শুনিবেন তখন উহা Q-তে পৌছাইয়া ছিল।

অতএব শব্দ PO+OQ পথ 3 সেকেণ্ডে অতিক্রম করিল ও ইতিমধ্যে এরোপ্লেন PQ পথ গেল।

$PQ = 3 \times$ এরোপ্লেনের বেগ।

$= 3 \times 176$ ফুট $= 528$ ফুট [এরোপ্লেনের বেগ = 120 মা./ঘ. = 176 ফু./সে.]।

আবার $PO + OQ = 3 \times c$ [c = শব্দের বেগ]।

$PO = 1·5c = 1·5 \times 1120 = 1680$ ফুট।

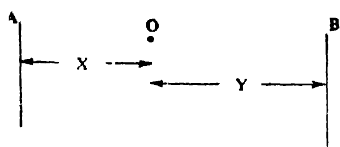
PQ-এর উপর RO অভিলম্ব আঁকিলে RO = বিমানের উচ্চতা = h (মনে কর)।

$$PR = \frac{1}{2}PQ = \times \frac{1}{2} \times 528 = 264 \text{ ফুট।}$$

$$\therefore \quad RO = \sqrt{OP^2 - PR^2} = \sqrt{1680^2 - 264^2}$$

$$= 1659·1 \text{ ফুট।}$$

(d) একব্যক্তি দুইটি সমান্তরাল পাহাড়ের মধ্যে দাঁড়াইয়া বন্দুক ছুঁড়িলেন। তিনি $1\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড পরে একটি, $2\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড পরে আর একটি, এবং আরও পরে তৃতীয় একটি প্রতিধ্বনি শুনিলেন। কেমন করিয়া এই প্রতিধ্বনিগুলির সৃষ্টি হইল? বন্দুক ছোঁড়ার কতক্ষণ পরে তৃতীয় প্রতিধ্বনি শোনা গেল এবং পাহাড় দুটির মধ্যে দূরত্ব কত? (বাতাসে শব্দের বেগ $=1120$ ফুট/সেকেণ্ড)। (C. U. 1944)



4·9

মনে কর প্রথম পাহাড় A হইতে লোকটির (O) দূরত্ব x ও দ্বিতীয় পাহাড় হইতে দূরত্ব y।

তাহা হইলে A পাহাড়ে প্রতিফলনের ফলে একটি ও B পাহাড় প্রতিফলনের ফলে আর একটি প্রতিধ্বনির সৃষ্টি হইবে।

A পাহাড়ে প্রতিফলনের জন্য প্রতিধ্বনির সৃষ্টি হয় $\frac{2x}{1120}$ সেকেণ্ড পরে,

এবং B পাহাড়ে প্রতিফলনের জন্য প্রতিধ্বনির সৃষ্টি হয় $\frac{2y}{1120}$ সেকেণ্ড পরে।

$$\frac{2x}{1120}=1\cdot5 \text{ সে. ধরিয়া,}$$

$$x=840 \text{ ফুট।}$$

$$\text{সেইরূপ, } \frac{2y}{1120}=2\cdot5 \text{ সেকেণ্ড,}$$

$$\therefore \quad y=1400 \text{ ফুট।}$$

$\therefore$ পাহাড় দুইটির মধ্যে দূরত্ব $x+y=840+1400=2240$ ফুট।

এখন A পাহাড়ে প্রতিফলিত শব্দ লোকটির অবস্থানে পৌঁছিয়া B অভিমুখে যাইবে এবং B-তে প্রতিফলিত হইয়া আবার প্রতিধ্বনির সৃষ্টি করিবে। অর্থাৎ ইহা সব-সমেত $2x+2y$ দূরত্ব অতিক্রম করিবে।

সুতরাং এই প্রতিধ্বনি মোট $1\cdot5$ সেকেণ্ড $+2\cdot5$ সেকেণ্ড $=4$ সেকেণ্ড পরে শোনা যাইবে।

আবার B পাহাড়ে প্রতিফলিত শব্দ A-তে প্রতিধ্বনির সৃষ্টি করিবে ও মোট $2y+2x$ দূরত্ব অতিক্রম করিবে। অতএব ইহাকেও বন্দুক ছুঁড়িবার

4 সেকেণ্ড পরে শোনা যাইবে। সুতরাং তৃতীয় প্রতিধ্বনি (প্রকৃত পক্ষে ইহা দুইটি প্রতিধ্বনি) বন্দুক ছুঁড়িবার 4 সেকেণ্ড পরে শোনা যাইবে।

A হইতে প্রথম প্রতিফলিত ও B-তে পুনঃ প্রতিফলিত শব্দ আবার A-তে প্রতিফলিত হইয়া চতুর্থ একটি প্রতিধ্বনির সৃষ্টি করিবে $4+1{\cdot}5=5{\cdot}5$ সেকেণ্ড পরে। একই ভাবে $4+2{\cdot}5=6{\cdot}5$ সেকেণ্ড পরে পঞ্চম, ও $4+4=8$ সেকেণ্ড পরে ষষ্ঠ প্রতিধ্বনি, এবং আরও অনেক প্রতিধ্বনির সৃষ্টি হইবে।

(e) এক ব্যক্তি পাহাড়ের সম্মুখে দাঁড়াইয়া লক্ষ্য করিলেন যে তাহার সৃষ্ট শব্দ ও উহার প্রতিধ্বনির মধ্যে 3 সেকেণ্ড অবকাশ রহিয়াছে। তিনি পাহাড়ের দিকে 550 ফুট অগ্রসর হইয়া দেখিলেন যে অবকাশ 2 সেকেণ্ড হইল। (i) শব্দের বেগ ও (ii) পাহাড় হইতে লোকটির প্রারম্ভিক দূরত্ব বাহির কর।

মনে কর, লোকটির প্রারম্ভিক দূরত্ব r, এবং শব্দের বেগ $=c$,

$$\therefore \text{ সময়} = \frac{2r}{c} = 3 \text{ সেকেণ্ড } \cdots\cdots (\alpha)$$

আবার, $$\frac{2(r-550)}{c} = 2 \text{ সেকেণ্ড। } \cdots\cdots (\beta)$$

$\therefore \quad 2r=3c,$

এবং $2r-1100=2c$;

$\therefore \quad c=1100$ ফুট/সে।

$\therefore \quad \alpha$-নং সমীকরণ হইতে

$$r=\frac{3c}{2}=\frac{3\times 1100}{2}=1650 \text{ ফুট।}$$

(f) একটি প্রতিধ্বনির ক্ষেত্রে 6-টি শব্দাংশের পুনরাবৃত্তি পাওয়া গেল। বাতাসে শব্দের বেগ 1120 ফু./সে. হইলে প্রতিফলকের দূরত্ব কত?

আমরা জানি যে এক শব্দাংশ-বিশিষ্ট প্রতিধ্বনির জন্য প্রতিফলকের দূরত্ব এমন হইবে যে শব্দ প্রতিফলিত হইয়া ফিরিতে মোট $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড সময় নেয়।

অতএব 6 শব্দাংশ-যুক্ত শব্দের প্রতিটি শব্দাংশের প্রতিধ্বনির জন্য $\frac{6}{5}$ সেকেণ্ড সময় দিতে হইবে।

$\frac{6}{5}$ সেকেণ্ডে শব্দ $\frac{6}{5}\times 1120=1344$ ফুট যাইবে এবং এই দূরত্ব প্রতিফলক পর্যন্ত যাওয়া ও ফিরিয়া আসার পথের মোট দৈর্ঘ্য।

$$\therefore \text{ প্রতিফলকের দূরত্ব} = \frac{1344}{2}=672 \text{ ফুট।}$$

(g) জলে নিমজ্জিত একটি পাহাড়ের উচ্চতার পরীক্ষায় জাহাজ হইতে শব্দোত্তর তরংগ প্রেরিত হইল। পাহাড়ের শিখর হইতে প্রতিধ্বনির আসিতে লাগে 0·1 সেকেণ্ড ও তলদেশ হইতে লাগে 0.95 সেকেণ্ড। পাহাড়ের উষ্ণতা কত? পাহাড়ের শিখর কতটা গভীরতায় আছে? (জলে শব্দের বেগ = 5000 ফুট/সেকেণ্ড)।

$2\times$ শিখরের গভীরতা $= 0{\cdot}1\times 5000$ ফুট $= 500$ ফুট। $\therefore$ শিখরের গভীরতা $= 250$ ফুট। $2\times$ তলদেশের গভীরতা $= 0{\cdot}95\times 5000$ ফুট। তলদেশের গভীরতা $= 2375$ ফট।

অতএব পাহাড়ের উচ্চতা $= 2375 - 250 = 2125$ ফুট।

(h) দুইটি পর্বতের মধ্যে দাঁড়াইয়া বন্দুক ছুঁড়িলে 1 সেকেণ্ড এবং 4 সেকেণ্ড পরে প্রতিধ্বনি শোনা গেল। পর্বত দুইটির মধ্যে ব্যবধান 2800 ফুট হইলে শব্দের বেগ কত? পরীক্ষাকালে বাতাসের উষ্ণতা 16^{0} সে. হইলে 0^{0} সে. উষ্ণতায় শব্দের বেগ কত? (চিত্র নং 4·9 দেখ)।

মনে কর A ও B (চিত্র নং 4·9) পর্বত দুইটির অবস্থান, এবং O লোকটির অবস্থান নির্দেশ করিতেছে। A ও B হইতে লোকটির দূরত্ব x ও y।

$\therefore \quad x + y = 2800$ ফুট।

প্রথম প্রতিধ্বনি A পাহাড়ে প্রতিফলনের ফলে সৃষ্টি হইতেছে।

$\therefore$ শব্দের বেগ c হইলে

$c\times 1 = 2x$।

দ্বিতীয় প্রতিধ্বনি B পাহাড়ে প্রতিফলনের জন্য হইতেছে।

$\therefore c\times 4 = 2y$।

$\therefore$ যোগ করিয়া, $5c = 2(x+y) = 2\times 2800$ ফুট।

$\therefore c = 1120$ ফুট/সেকেণ্ড।

0° সে. উষ্ণতায় শব্দের বেগ c_0 হইলে,

$c = c_0(1 + {\cdot}00183\times 16) = c_0\times 1{\cdot}02928 = 1088$ ফু/সে.।

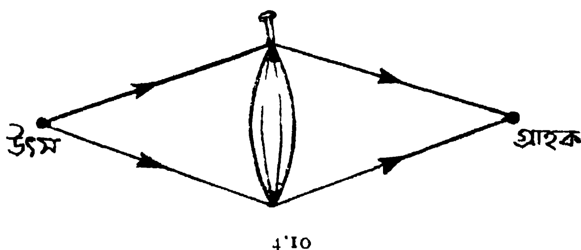
4.13. শব্দের প্রতিসরণ (Refaction of Sound):

এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে আপতনের সময়ে শব্দ-তরংগের এক অংশের প্রতিসরণ ঘটে।

পুকুরে ডুব দিয়া থাকিবার সময়ে জলের বাহিরে অবস্থিত লোকের কথাবার্তা কানে আসে।

প্রতিসরণের সময়ে শব্দ প্রতিসরণের সূত্র মানিয়া চলে।

পরীক্ষা: একটি রবারের ফুটবল ব্লাডারে কার্বন-ডাই-অক্সাইড গ্যাস ভরিয়া ঝুলাইয়া দাও। তাহার সামনে একটি উচ্চ কম্পাংক বিশিষ্ট বাঁশি বাজাইলে শব্দ তরংগগুলি কার্বন-ডাই-অক্সাইডের "লেন্সে" প্রতিসরণের পরে পুনরায় এক বিন্দুতে মিলিত হয় ও সেই বিন্দুতে শব্দের প্রাবল্য খুব বেশী হয়।



4'10

আলোকের মত শব্দেরও লঘুতর মাধ্যমে আপতনের ফলে পূর্ণ প্রতিফলন হইতে পারে।

4 14. শব্দোত্তর তরংগের ব্যবহার (Application of Ultra-sonic waves):

শব্দোত্তর তরংগকে সমুদ্রের গভীরতা মাপিবার কাজে ব্যবহার করা হয় ইহা পূর্বেই বলা হইয়াছে। জাহাজের তলদেশে প্রেরক যন্ত্র হাইড্রোফোনের সাহায্যে প্রায় 15000-30000 কম্পাংকের তরংগ প্রেরিত হয়। এই তরংগ সমুদ্রতল হইতে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসে ও জাহাজের নীচে রক্ষিত গ্রাহক যন্ত্রে ধরা পড়ে। সংকেত প্রেরণের সময় ও প্রতিফলিত সংকেত প্রাপ্তির সময়ের মধ্যের অবকাশ হইতে সমুদ্রের গভীরতা মাপা যায়।

ইহা ছাড়া সমুদ্রের মধ্যে নিমজ্জিত পাহাড়, ডুবন্ত জাহাজ, মাছের ঝাঁকের অবস্থানও শব্দোত্তর তরংগের সাহায্যে জানা যায়। প্রেরিত তরংগের প্রতিফলনের সময় হইতেই ইহা বুঝিতে পারা যায়।

আজকাল শব্দোত্তর তরংগকে বিভিন্ন কাজে ব্যাপক ভাবে ব্যবহার করা হইতেছে।

চিকিৎসা বিজ্ঞানে জীবাণু ধ্বংসের কাজে শব্দোত্তর তরংগ ব্যবহারে সুফল পাওয়া যায়। যক্ষ্মা ও ডিপথিরিয়ার বীজাণুকে এই উপায়ে ধ্বংস করা যায়।

হুপিং কাশির সিরাম প্রস্তুতেও শব্দোত্তর তরংগ ব্যবহার করা যায়। দেহাভ্যন্তরে ক্যান্সার ও টিউমারের অবস্থান নির্ণয়ের জন্য প্রায় $1\frac{1}{2}$ কোটি কম্পাংকের শব্দোত্তর তরংগ পরীক্ষামূলক ভাবে ব্যবহার করা হইতেছে।

অদ্রবনীয় বস্তুকে দ্রাবকে মিশাইবার জন্য শব্দোত্তর তরংগ ব্যবহার করা হয়। জলে কর্পূর গলে না, কিন্তু শব্দোত্তর তরংগের সাহায্যে উহাকে মিহি করিয়া জলে মিশাইয়া দেওয়া চলে। যেখানে কর্পূর ইঞ্জেকশনের প্রয়োজন হয় সেখানে এই মিশ্রণ ব্যবহৃত হয়।

রাসায়নিক পরিবর্তনের কাজেও শব্দোত্তর তরংগ ব্যবহার করা চলে।

মূল্যবান বস্ত্রাদিকে যদি শব্দোত্তর তরংগের সাহায্যে স্পন্দিত করা যায়, তবে উহাদের ময়লা বাহির হইয়া যায়। পেট্রোল বা জলের পরিবর্তে এই উপায়ে বস্ত্রকে ধৌত করা যায়।

বয়লারের গায়ে যে চূন জমে তাহা পরিষ্কার করিবার জন্য, কারখানার বাতাসের ধূলি ও ধূম পরিষ্কার করিবার জন্য, বিভিন্ন ধাতুর পাতকে সাফাই করিবার জন্যও শব্দোত্তর তরংগ ব্যবহার করা চলে। ধাতুর পাতের ভিতরে কোন খাদ বা ফাটল আছে কিনা তাহাও শব্দোত্তর তরংগে ধরা যায়। ধাতুর ভিতরে শব্দোত্তর তরংগ পাঠাইলে তাহা খাদ বা ফাটলে প্রতিফলিত হয়।

অলংকারের দোকানে পাহারা দিবার কাজেও শব্দোত্তর তরংগ ব্যবহৃত হইতেছে। দোকান-ঘরে শব্দোত্তর তরংগ সঞ্চালিত করা হয়। দোকানে কেহ আসিলে তাহার পায়ে ঐ তরংগ প্রতিফলিত হয় ও ফলে বিপদ-জ্ঞাপক ঘণ্টা বাজিয়া ওঠে।

শব্দোত্তর তরংগের ব্যবহার এখনও পরীক্ষামূলক অবস্থায় রহিয়াছে। তবে ইহার প্রয়োগ বিজ্ঞানে বিভিন্ন সম্ভবপর দ্বার খুলিয়া গিয়াছে।

প্রশ্নমালা

1. শব্দের প্রতিফলনের একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর।

Describe an expeiment to demonstrate the reflection of sound. (C U. 1946)

2. শব্দের প্রতিফলনের কয়েকটি ব্যবহার বর্ণনা কর।

Describe some applications where reflection of sound has been useful. Pat 1944 ; of C.U. 1946)

3. প্রতিধ্বনি কাহাকে বলে? ইহার সৃষ্টি সম্বন্ধে যাহা জান লিখ।

What is an echo? Describe what you know about its production. (C. U. 1946, '59, '61 ; Pat. 1947)

4. প্রতিধ্বনির সাহায্যে প্রতিফলকের দূরত্ব কিভাবে নির্ণয় করা যায়? ইহার একটি ব্যবহারিক প্রয়োগের বর্ণনা দাও।

(উত্তরের সংকেত : সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয়)।

How can the distance of a reflector be determined by echo? Describe an application of the principle.

(cf. C. U. 1949, '61)

5. প্রতিধ্বনির সাহায্যে সমুদ্রের গভীরতা কিভাবে নির্ণয় করা যায়।

How can the depths of oceans be determined by employing echoes. (C. U. 1946)

6. শব্দের প্রতিফলন সুবিধা ও অসুবিধার সৃষ্টি করিয়াছে এমন একটি করিয়া উদাহরণ দাও।

Give an example each where reflection of sound is advantageous and disadvantageous.

7. একটি পর্বত হইতে দূরে একস্থানে দাঁড়াইয়া চিৎকার করিলে 1 সেকেণ্ড পরে প্রতিধ্বনি ফিরিয়া আসে। স্থানটির ও পর্বতের মধ্যের দূরত্ব কত? বাতাসে শব্দের বেগ = 1120 ফুট সেকেণ্ড। [560 ফুট]

A man stands at a point in front of a hill-range and shouts. The echo returns after 1 second. Find the distance of the hill. (Velocity of second in air = 1120 ft/sec).

8. নদীর একতীরে দাঁড়াইয়া হাতে তালি দিলে অপর তীরস্থ অট্টালিকা শ্রেণী হইতে প্রতিধ্বনি $\frac{1}{4}$ সেকেণ্ড পরে ফিরিয়া আসে। নদীর বিস্তৃতি 140 ফুট হইলে শব্দের বেগ কত? [1120 ফুট সেকেণ্ড]

Standing on the bank of the river 140 ft. broad the sound of clapping the hands is reflected from the houses on the other bank after $\frac{1}{4}$ sec. Find the velocity of sonnd

9. সমুদ্রের গভীরতা মাপিয়া একটি পরীক্ষায় সমুদ্র-গর্ভে প্রেরিত শব্দোত্তর

তরংগ 13·2 সেকেণ্ড পরে ফিরিল। সেই স্থানে সমুদ্রের গভীরতা কত? (জলে শব্দের বেগ = 4900 ফু./সে.)। [32340 ফুট]

In an experiment to determine the depth of ocean at a point, the ultrasonic waves returned from ocean-bed after 13·2 scs. Find the depth at that point. (Velocity of second in water = 4900 ft/sec.

10. একটি মাছ ধরিবার ট্রলারের দৈর্ঘ্য 120 ফুট, এবং উহার নীচে এক-প্রান্তে শব্দোত্তর তরংগ প্রেরণের ও অন্য প্রান্তে ঐ তরংগ গ্রহণের যন্ত্র আছে।

খাড়া নীচে কোন এক মাছের ঝাঁক প্রেরিত তরংগকে 0 15 সেকেণ্ড পরে প্রতিধ্বনিত করিলে মাছের ঝাঁক কত গভীরতায় আছে? (জলে শব্দের বেগ = 5000 ফু./সে.)। [370 ফুট]

A fishing trawler, 120 ft. long, is equipped with an ultra-sonic transmitter and a receiver at its two ends.

A shoal of fish, vertically below the trawler, echoes the transmitted waves after 0.15 secs. Find the depth of the fish. (Velocity of sound in water = 5000 ft./sec.)

11. একটি পর্বত শ্রেণী হইতে 500 গজ দূরে একটি কামান রহিয়াছে। সেই পর্বত শ্রেণীরই সম্মুখে একই দূরত্বে এক ব্যক্তি রহিয়াছেন। তিনি কামানের শিখা দেখিবার 4 সেকেণ্ড পরে শব্দ শুনিলেন। বাতাসে শব্দের বেগ 1100 ফুট/সেকেণ্ড হইলে শ্রোতা ও কামানের দূরত্ব. এবং শিখা দেখিবার পরে প্রতিধ্বনি শুনিবার সময় বাহির কর। [4400 ফুট, 4·8 সেকেণ্ড]।

A cannon is placed 500 yards from a long perpendicular line of cliffs An observer, at the same distance from the cliffs and on the same side hears the cannon-shot 4 secs. after the flash. If the velocity of sound is 1100 ft/sec, calculate the observer's distance from the cannon and the time after the flash when he hears the echo from the line of cliffs.

12. একটি তিন শব্দাংশ বিশিষ্ট শব্দ একটি প্রতিফলকে প্রতিধ্বনিত হইয়া উহার শেষ শব্দাংশ শোনা গেল। প্রতিফলকের দূরত্ব কত? (শব্দের বেগ 1120 ফুট/সেকেণ্ড)। [220 ফুট]

A tri-syllabic sound is echoed by a reflector so that its last syllable is repeated. Find the distance of the reflector. (Velocity of sound = 1100 ft/sec.)

13. চারিটি শব্দাংশ বিশিষ্ট একটি কথা দূরের প্রতিফলকে প্রতিফলিত হইল ও উহার সমস্ত কথারই পুনরাবৃত্তি শোনা গেল। শব্দের বেগ 1100 ফুট/সে হইলে প্রতিফলকের দূরত্ব কত? [880 ফুট]

A word having four syllables is echoed from a reflector so that all the syllables are distinctly repeated. Given velocity of sound=1100ft/sec, find the distance of the reflector.

14. বহু প্রতিধ্বনি কাহাকে বলে? ইহার উৎপত্তি কিরূপে হয়?

এক মাইল ব্যবধানে অবস্থিত দুইটি সমান্তরাল পর্বত শ্রেণীর মধ্যে এক ব্যক্তি দাঁড়াইয়া আছেন, এবং একটি পর্বত হইতে তাঁহার দূরত্ব 1000 ফুট। তিনি বন্দুক ছুড়িলে প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় প্রতিধ্বনি কখন্ শুনিতে পাইবেন? শব্দের বেগ = 1100 ফুট/সে। [$1\frac{9}{11}$, $7\frac{1}{5}\frac{8}{5}$ ও $9\frac{7}{1}$ সেকেণ্ড]

What is meant by multiple echoes? How is it produced? A man is standing between two parallel cliffs one mile apart so that his distance from one cliff is 1000 ft. If he fires a gun, find when he will hear the first, second and third echoes. (Velocity of Sound = 1100ft/sec.)

15. একটি পরীক্ষা দ্বারা শব্দের প্রতিসরণের উদাহরণ দাও।

Demonstrate the refraction of sound by an experiment.

16. শব্দোত্তর তরংগ কাহাকে বলে? ইহার কয়েকটি ব্যবহারের বর্ণনা দাও।

What is meant by an Ultrasonic wave? Describe some of its uses.

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

মুক্ত, পরবশ ও অনুনাদী কম্পন

(Free, Forced & Resonant Vibrations)

5.1. মুক্ত ও পরবশ কম্পন (Free & Forced Vibrations) : কোন বস্তুকে যখন আঘাতে বা অন্যভাবে উদ্দীপ্ত করা যায়, তখন সাধারণতঃ উহা একটি নির্দ্দিষ্ট কম্পনাংকে কাঁপিতে থাকে। এই কম্পাংক বস্তুটির আকৃতি, আয়তন ও ভরের উপর নির্ভর করে। এইরূপ কম্পনাংক মুক্ত কম্পন (Free-vibration) বলা হয়, ও উহার কম্পাংকে স্বাভাবিক কম্পাংক (Natural frequency) বলা হয়। একটি সুরশলাকাকে একটি রবারের হাতুড়ি দ্বারা আঘাত করিলে উহা কাঁপিবে ও উহা হইতে সুর বাহির হইবে। অবশ্য এই সুর অত্যন্ত মৃদু সেইজন্য কেবলমাত্র কানের কাছে ধরিলে তবেই ইহা শুনা যাইবে। উহাকে থামাইয়া আবার উদ্দীপ্ত করিলে দেখা যাইবে উহা একই কম্পাংকের সুর সৃষ্টি করিতেছে। উহাকে যতবারই উদ্দীপ্ত করা যাক না কেন, উহা হইতে একই কম্পাংকের সুর বাহির হইবে।

কোন বস্তুকে যদি কোন পর্যাবৃত্ত বল (Periodic force) উদ্দীপ্ত করে, তবে উহা অনেক সময় কম্পন করিতে থাকে। কখনও কখনও উহা স্বাভাবিক কম্পাংক হইতে অন্য কম্পাংকে উদ্দীপ্ত হয়। এইরূপে পর্যাবৃত্ত বলের সাহায্যে কোন বস্তু নিজের স্বাভাবিক বা ভিন্ন কম্পাংকে উদ্বুদ্ধ হইলে বলা হয়, বস্তুটির পরবশ কম্পন হইতেছে।

পরীক্ষা : বিভিন্ন কম্পাংক বিশিষ্ট তিনটি সুরশলাকা নও। উহাদের একটিকে রবারের হাতুড়ির আঘাতে উদ্দীপ্ত করিয়া উহার দণ্ডকে (shank) টেবিলের উপর চাপিয়াধর। খুব জোরালো শব্দ শুনিতে পাইবে। সুরশলকাকে টেবিলের উপর হইতে তুলিয়া কানের কাছে ধরিলে একই সুর শুনিবে, কিন্তু খুব মৃদু ভাবে শব্দ বাহির হইবে।

দ্বিতীয় ও তৃতীয় সুরশলাকা লইয়া পরীক্ষা করিলে দেখিবে যে উহাদের দণ্ডকে টেবিলের উপর ঠেকাইলে বিভিন্ন সুর বাহির হইতেছে, কিন্তু প্রতিটি সুরশলাকা টেবিলের উপর বসাইলে যে সুর বাহির হয়, কানের কাছে ধরিলেও তাহাই অতি মৃদুভাবে শোনা যায়।

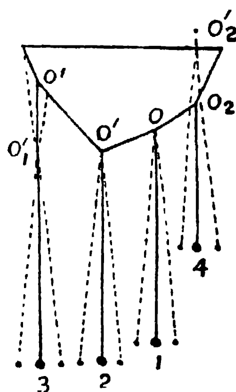
টেবিলের উপর হাতুড়ি দিয়া আঘাত কর, ঠক্ ঠক্ আওয়াজ হইবে।

প্রত্যেকটি সুরশলাকাকে উদ্দীপ্ত করিলে উহা নিজের স্বাভাবিক কম্পাংকে মুক্তভাবে কম্পিত হয়। টেবিলের উপর উহাকে বসাইলে উহা টেবিলকে উদ্দীপ্ত করে, কিন্তু টেবিল তখন সুরশলাকার কম্পাংকেই কাঁপিতে থাকে। টেবিলের স্বাভাবিক কম্পাংক হাতুড়ির পেটানোর ঠক্ ঠক্ শব্দের কম্পাংক।

তাহা হইলে দেখ, টেবিলকে নিজের কম্পাংক হইতে ভিন্ন কম্পাংকে উদ্দীপ্ত করা যায়। এই অবস্থায় টেবিলের পরবশ কম্পন হইতে থাকে। ফলে টেবিলের উপরের বিস্তৃত বাতাসের স্তরে তরংগের সৃষ্টি হয় বলিয়া আওয়াজ জোরালো হয়।

5.2. পরবশ কম্পন ও অনুনাদ (Forced Vibration and Resonance) :

পরীক্ষা : একটি নরম রবারের ফিতা ঢিলা করিয়া দৃঢ় আলম্বের সহিত বাঁধা হইল। রবারের ফিতা হইতে চারিটি সরল দোলক ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। ইহাদের মধ্যে 1 নং ও 2 নং দোলকের দৈর্ঘ্য সমান, 3 নং দোলকের দৈর্ঘ্য কিছু বড় ও 4 নং দোলকের দৈর্ঘ্য কিছু ছোট। স্বভাবতঃই 1 ও 2 নং



5·1

দোলকের পর্যায়-কাল (T) এবং ফলে কম্পাংক (n)সমান (কারণ $n \times T = 1$), 3 নং দোলকের পর্য্যায়-কাল বৃহত্তর, ফলে কম্পাংক ক্ষুদ্রতর এবং 4 নং দোলকের কম্পাংক বৃহত্তর। ইহা তোমরা পরীক্ষা করিতে পার। 1 ও 2 নং কে

দোলাইলে উহারা যে ভাবে দুলিবে, 3 নং তাহার চেয়ে ধীরে ও 4 নং তাড়াতাড়ি দুলিবে।

দোলক চারটিকে স্থির অবস্থায় আনিয়া 1 নং দোলককে দোলাও। দেখা যাইবে যে প্রায় সঙ্গে সঙ্গেই 2 নং দোলক একই ভাবে ও একই পর্যায়-কালে দুলিতে আরম্ভ করিল ও উহার বিস্তার খুব বেশী হইল। 3 ও 4 নং দোলক প্রথমে কিছুক্ষণ এলোমেলো ভাবে দুলিয়া অবশেষে 1 নং দোলকের সমান পর্যায়-কালে দুলিতে থাকে, তবে ইহাদেব দোলন-পথের বিস্তার কম হয়। ভাল করিয়া লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে 3 নং দোলকটি এমন ভাবে দুলিতেছে যেন উহার আলম্ব বিন্দু (Point of suspension) আব ফিতার উপরে O_1 বিন্দু নাই, উহা যেন O'_1 বিন্দু হইয়া গিয়াছে। সেইরূপে 4 নং দোলকের দোলন বিন্দু হইয়া যায় O'_2, যদিও ইহার প্রকৃত অস্তিত্ব নাই। আরও একটা জিনিষ লক্ষ্য করা যায়—1 ও 2 নং গোলকের দশা (phase) সমান, অর্থাৎ ইহারা একই সময়ে ও একই দিকে গড় বিন্দু (Mean Position) পার হয়। কিন্তু 3 নং ও 4 নং দোলকের দশা ভিন্ন, এবং শুধু তাই নয়, ইহারা প্রায় পরস্পরের বিপরীত, অর্থাৎ কোন সময়ে 3 নং দোলক গড় বিন্দু দিয়া যে দিকে (ধরিয়া নাও বাম দিকে) যাইতেছে, 4 নং দোলক সেই সময়ে বিপরীত দিকে যায়।

ব্যাখ্যা—প্রথমে শুধু মাত্র 1 নং দোলককে দোলায়িত করা হইয়াছিল। উহা নিজের স্বাভাবিক কম্পনে দুলিতে দুলিতে রবারের ফিতার মাধ্যমে শক্তি সঞ্চালিত করিয়া 2, 3 এবং 4 নং দোলককে উদ্দীপ্ত করিল। অতএব 2, 3 ও 4 নং দোলকেব পরবশ কম্পন হইতেছে।

আবার, 2 নং দোলকের পর্যায়-কাল 1 নং দোলকের পর্যায়-কালের সমান হওয়ায় উহা সহজেই 1 নং দোলকের প্রদত্ত পর্যাবৃত্ত বলের দ্বারা উদ্বুদ্ধ হয় ও দুলিতে সুরু করে। উহার বিস্তারও খুব বেশী হয়।

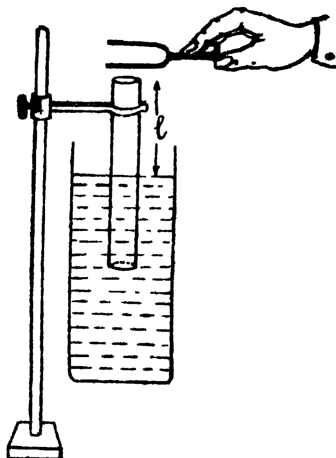
3 ও 4 নং দোলকের পর্যায়-কাল ভিন্ন, সুতরাং প্রথম যখন উহাদের উপরে বল ক্রিয়া করে, উহারা সেই বলের ক্রিয়ার সুযোগে নিজেদের স্বাভাবিক কম্পন আরম্ভ করে, কিন্তু 1 নং দোলকের প্রদত্ত বলটি পর্যাবৃত্ত হওয়ায় ও উহা 1 নং দোলকের পর্যায়-কাল অনুসারে কাজ করায় 3 ও 4 নং দোলক এমনভাবে শক্তি লাভ করে যে উহাদের বাধ্য হইয়া 1 নং দোলকের নির্দেশ অনুসারে দুলিতে হয়। তবে ইহাদের বিস্তার কম হয়।

এক্ষেত্রে, 2, 3 ও 4 নং দোলকের পরবশ কম্পন হইতেছে, কিন্তু ইহার মধ্যে 2 নং দোলকের কম্পনকে একটি বিশেষ নাম দেওয়া হয়, ইহার কম্পনকে অনুনাদী কম্পন (Resonant Vibration) বলা হয়। আমরা বলি যে 2 নং দোলকের অনুনাদ (Resonance) হইয়াছে।

5.3. অনুনাদের কয়েকটি পরীক্ষা—

(i) অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ (Resonant Air Column) :

একটি কাচের দুই মুখ খোলা প্রায় ½ মিটার লম্বা নল নাও। একটি কাচের জারে জল লইয়া নলটিকে উহার মধ্যে খাড়া ভাবে প্রায় অর্ধেক ডুবাও। এই অবস্থায় নলটিকে একটি ষ্ট্যাণ্ডের সাহায্যে ধরিয়া রাখ।



5·2

একটি সুরশলাকাকে উদ্দীপ্ত করিয়া নলের খোলা যে মুখটি জলের বাহিরে আছে তাহার উপরে ধর (চিত্র নং 5·2)। বিশেষ কোন শব্দ শোনা যাইবে না। কিন্তু নলটি একটু উঠানামা করিয়া আবার উহার মুখে কম্পমান সুরশলাকা ধরিলে সুরশলাকার সুরেলা শব্দ বেশ জোরে শোনা যাইবে। এখন নলের ভিতরে জলের উপরে যে বাতাসের স্তম্ভ রহিয়াছে উহা সুরশলাকার দ্বারা পরবশ কম্পনে বাধ্য হইতেছে, এবং সুরশলাকার সহিত এই বাতাসের স্তম্ভের কম্পন যুক্ত হওয়ায় শব্দ জোরালো হইতেছে। নলটিকে আরও সামান্য উঠানামা করিলে এমন একটি দৈর্ঘ্য পাওয়া যায় যখন শব্দটি অতিশয় জোরালো হয়। এখন বায়ুস্তম্ভের অনুনাদ হইতেছে। ঐ দৈর্ঘ্যের বায়ুস্তম্ভকে উদ্দীপ্ত করিলে উহা স্বাভাবিক অবস্থায় যে ভাবে কম্পন করিত, সুরশলাকার কম্পাংক তাহার সহিত মিলিয়া যাওয়ায় বায়ুস্তম্ভ অনুনাদী কম্পন করিতে আরম্ভ করিল। দৈর্ঘ্যকে সামান্য পরিবর্তন করিলে শব্দের তীব্রতা আবার কমিয়া যায়, অর্থাৎ পরবশ কম্পন হয় বটে, কিন্তু অনুনাদ হয় না।

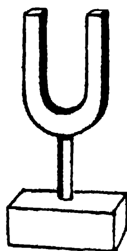
(ii) একটি সনোমিটারের তারকে ভার ঝুলাইয়া টান কর। উহার উপরে

একটি ছোট কাগজের টুকরা মধ্যস্থানে বসাও। এই ধরণের কাগজের টুকরাকে আরোহী বলে। একটি সুরশলাকাকে উদ্দীপ্ত করিয়া সনোমিটারের যে প্রান্তে তার ঝুলানো আছে সেই প্রান্তে সনোমিটারের বাক্সের উপরে ঠেকাইয়া বসাও। জোরালো শব্দ শুনিতে পাইবে—কারণ বাক্স ও উহার মধ্যের বাতাসের পরবশ কম্পন হইতেছে। কম্পমান বস্তুর আয়তন বড় বলিয়া জোরালো শব্দ হয়।

সনোমিটারের ক্ষুরধারটিকে এ-পাশে ওপাশে সরাইয়া পরীক্ষা করিতে থাক। একটি নির্দিষ্ট অবস্থানে পৌছিলে দেখিবে যে কম্পমান সুরশলাকা বাক্সের উপরে বসাইলে তারের উপরের কাগজের আরোহীটি লাফাইয়া উঠিবে ও পড়িয়া যাইবে। এই অবস্থায় সনোমিটারের তারের যে দৈর্ঘ্যটুকু প্রান্তের ক্ষুরধার ও সরাইয়া রাখা ক্ষুর ধারের মধ্যে আছে তাহার কম্পাংক সুরশলাকার কম্পাংকের সমান হয় ও ফলে সুরশলাকার দ্বারা উহার অনুনাদ হয় এবং উহা কাঁপিতে থাকে। ক্ষুরধারটি সরাইয়া অন্যত্র লইলে আর এইরূপ হইবে না। বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের তারের কম্পাংক বিভিন্ন। নূতন দৈর্ঘ্যের তার আর এই সুরশলাকার সহিত অনুনাদী হয় না, যদি না ভারও বদলানো যায়।

(iii) একই সুরে বাঁধা দুইটি সেতার এক ঘরে যদি থাকে তবে উহাদের একটিতে ঝংকার তুলিলে অন্যটিও গুঞ্জন করিয়া উঠিবে। প্রথম সেতার বাতাসে যে তরংগ তোলে তাহা দ্বিতীয় সেতারে অনুনাদের সৃষ্টি করে। এই রকম ক্ষেত্রে, যেখানে প্রত্যক্ষ যোগাযোগ স্থাপন না করিয়াও অনুনাদ হয় সেখানে অনুনাদী কম্পনকে সহানুভূত কম্পন (Sympathetic vibration) বলে।

(iv) শব্দায়মান বাক্স (Sounding box) বিশিষ্ট একটি সুরশলাকা লাও। এই বাক্সগুলি চতুষ্কোণ একমুখ খোলা কাঠের ছোট বাক্স, ইহার উপরে প্যাঁচের সাহায্যে সুরশলাকা বসানো যায়। এই বাক্সের মধ্যের বাতাসের স্বাভাবিক কম্পাংক আটকানো সুরশলাকার কম্পাংকের সমান হয় বলিয়া হাতুড়ির আঘাতে সুরশলাকাকে উদ্দীপ্ত করিলে দেখিবে বাক্সের বাতাসের অনুনাদের ফলে শব্দ জোরালো হইল।

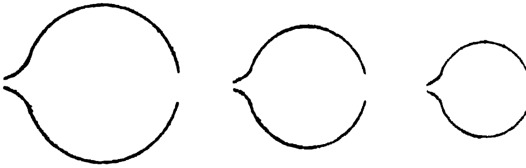


5'3

(v) শব্দায়মান বাক্সযুক্ত একই কম্পাংকের দুইটি সুরশলাকা নাও। উহাদের বাক্সের খোলামুখ সামনা সামনি করিয়া উহাদের পাশাপাশি বসাও। একটি সুরশলাকাকে উদ্দীপ্ত কর।

এখন উহাকে থামাইলে দেখিবে দ্বিতীয় সুরশলাকাটি বাজিতেছে। সহানুভূত কম্পনের ফলে এইরূপ হয়।

(vi) হেলম্‌হোলট্‌জের অনুনাদক (Helmholtz's Resonators): জার্মান বিজ্ঞানী হেলম্‌হোলট্‌জ শব্দের কম্পাংক মাপিবার জন্য কতকগুলি ধাতব গোলক নির্ম্মাণ করেন। এই গোলকের একদিকে একটি খোলামুখ থাকে, ও ঠিক বিপরীত দিকে একটি ক্ষুদ্র চোঙের মত অংশ বাহিরে থাকে ও ইহার মুখে একটি ছিদ্র থাকে। এই গোলক গুলিকে অনুনাদক বলা হয়।



5·4 হেলম্‌হোলট্‌জের অনুনাদক

কোন অনুনাদকের স্বাভাবিক কম্পাংক উহার ভিতরের বাতাসের আয়তন ও উহার খোলামুখের প্রস্থচ্ছেদের উপর নির্ভর করে। এই কম্পাংকের কোন শব্দ বাতাসে থাকিলে গোলক অনুনাদ করে ও উহার সূক্ষ্ম ছিদ্রে কান পাতিলে সেই শব্দ শোনা যায়। এই যন্ত্রের কাজ এত সূক্ষ্ম যে একসঙ্গে অনেকগুলি শব্দের মিশ্রণ (যেমন উচ্চাংগ সংগীতে হয়) হইতে উহা ঠিক কম্পাংক ধরিতে পারে।

(vii) একটি নৌকা জলে ভাসাইয়া তাহার উপর আড়াআড়ি দাঁড়াও। এক পা দিয়া একদিকে চাপ দিলে নৌকাটি দুলিতে আরম্ভ করিবে। দোলকের সহিত তাল রাখিয়া যখন নৌকার দোলনগতি যে দিকে সেদিকে পা দিয়া চাপ দিলে শীঘ্রই নৌকার দোলনের বিস্তার এত বাড়িবে যে নৌকা উল্টাইয়া যাইবে।

(viii) সৈন্যবাহিনী যখন রাস্তা দিয়া চলে তখন মার্চ করিয়া চলে। কিন্তু কোন সেতুর উপর দিয়া যাইবার সময়ে উহাদের শৃঙ্খলাবদ্ধ পদক্ষেপ করিতে নিষেধ করা হয়। যদি উহাদের পদক্ষেপের কম্পাংক সেতুর স্বাভাবিক কম্পাংকের সহিত সমান হয় তবে সেতুর অনুনাদী কম্পন হয় ও শীঘ্রই উহার বিস্তার এত হয় যে উহা স্থিতিস্থাপকতার সীমা পার হইয়া ভাঙিয়া যাইতে পারে।

(ix) বিভিন্ন বেতার ষ্টেশন হইতে নানা কম্পাংকের বেতার-তরংগ

ঈথরে ছড়াইয়া দেওয়া হয়। রেডিওর কণ্ডেন্সারের (condenser) হাতল বর্তনীর বৈদ্যুতিক ঘুরাইয়া রেডিওর কম্পনের হার পরিবর্তন করা হয় ও উহাকে কোন নির্দ্দিষ্ট তরংগের সমান করা হয়, ফলে সেই তরংগ বেতারে ধরা পড়ে। এই প্রক্রিয়াকে টিউন• করা (tuning) বলে।

5.4. হারমান হেল্‌ম্‌হোল্‌ট্‌জ্ (**Herman Helmholtz**)—(**1821—1894**)**:** জার্মানীর একজন বিশিষ্ট বিজ্ঞানী ও দার্শনিক ছিলেন। আলোক-বিজ্ঞান, শব্দতত্ত্ব•ও তড়িৎ-বিজ্ঞানে তাঁহার বিভিন্ন অবদানের জন্য তিনি বিখ্যাত হইয়া আছেন। পট্‌স্‌ডামের এক শিক্ষকের পুত্র হেল্‌ম্‌হোল্‌ট্‌জ্ প্রথম জীবনে চিকিৎসক ছিলেন। 1848 খৃষ্টাব্দে তিনি কোয়েনিগ্‌স্‌বার্গ বিশ্ববিদ্যালয়ে শরীর-বিদ্যার অধ্যাপক নিযুক্ত হন। পরে বন ও বার্লিন বিশ্ববিদ্যালয়ে তিনি শরীর-তত্ত্বের অধ্যাপক হিসাবে কাজ করেন। 1888 খৃষ্টাব্দে তিনি জার্মানীর জাতীয় পদার্থ-বিজ্ঞান গবেষণাগারের সভাপতি পদে বৃত হন।

বিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখায় হেল্‌ম্‌হোল্‌ট্‌জের গভীর জ্ঞান ছিল। শরীর-বিজ্ঞানী হইয়াও এই প্রতিভাশালী বিজ্ঞানী পদার্থবিদ্যার বিভিন্ন শাখায় নূতন নূতন অবিষ্কার করিয়া গিয়াছেন। তিনি চক্ষু পরীক্ষা করিবার যন্ত্র অপ্‌থ্যালমোস্কোপ (Opthalmoscope) আবিষ্কার করেন। হেল্‌ম্‌হোল্‌ট্‌জ গ্যালভ্যানোমিটার, ও অনুনাদক তাহার আবিষ্কার। Physiological Optics ও Theory of •Sound গ্রন্থে তিনি আলোক-বিদ্যা ও শব্দ-তত্ত্বের আলোচনা করিয়াছেন। বিশেষতঃ শব্দ-বিজ্ঞানে শব্দের শারীরিক প্রভাব ও সুর-সমৃদ্ধ শব্দ সম্বন্ধে তাঁহার গবেষণা অতিশয় মূল্যবান।

প্রশ্নমালা

1. মুক্ত ও পরবশ কম্পন কাহাকে বলে? ইহাদের উদাহরণ দাও।

What is meant by Free and Forced vibrations? Give examples. (cf. C. U. 1947 ; cf H. S. Technical 1960, 61)

2. তারের যন্ত্রে শব্দকারী বাক্সের•প্রায়োজনীয়তা কি?

What is the function of the hollow body in a violin?
(H. S. Tech. 1960)

3. অনুনাদ কাহাকে বলে? একটি যান্ত্রিক উদাহরণ দিয়া ইহার নীতি বুঝাইয়া দাও।

What do you mean by resonance ? Explain with the help of a mechanical example, its principle. (C. U. 1929. cf. H. S. Tech. 1961 ; pat. 1929, '31, '33).

4. একটি কম্পমান সুরশলাকার হাতল পাতলা কাঠের তক্তার উপরে চাপিয়া ধরিলে শব্দ জোরালো হয় কেন ? এই শব্দ সর্বাপেক্ষা জোরালো হইবে কখন ?

Why is it that when the handle of a vibrating tuning fork is pressed against a thin wooden board, the sound is increased ? When is the sound has the maximum audibility ? (C. U. 1915, '36, pat. 1931, '47, H. S. 1960).

5. সুরশলাকা অনেক সময়ে ফাঁপা কাঠের বাক্সের উপরে বসানো থাকে। কেন ?

Why is a tuning fork sometimes mounted on a hollow wooden box ?

6. অনুনাদক কাহাকে বলে ? ইহার ব্যবহার কিরূপ ?

What is a resonator ? How is it used ? (Pat. 1929 ; G. U. 1949 ; A. U. 1918).

7. স্থির-তরংগ কাহাকে বলে ? শব্দ বিজ্ঞানে স্থির তরঙ্গের উৎপত্তির একটি উদাহরণ দাও।

What is a Stationary wave ? Give an accoustical example of the production of stationary vibrations. (C. U. 1931, '47, '57, pat. 1937)

8. স্থির-তরংগ ও চল-তরংগের পার্থক্য উদাহরণ দিয়া বুঝাইয়া দাও।

Explain the differance between Stationay and Progressive Waves. (C. U. 1923, '55, cf. 1939 ; cf. pat. 1931, '35 ; A. U. 1931, '46).

9. সৈন্যবাহিনী রাস্তা দিয়া মার্চ করিবার সময়ে কোন সেতু পড়িলে তাহাদের পদক্ষেপের শৃঙ্খলা ভাঙিয়া দিতে বলা হয় কেন ?

Explain why is an army marching over a bridge asked to break the steps ?

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

বায়ুস্তম্ভের কম্পন

(Vibration of Air Columns)

6.1. নলের মধ্যে বায়ুস্তম্ভের কম্পন (Vibration of air-columns in pipes) :

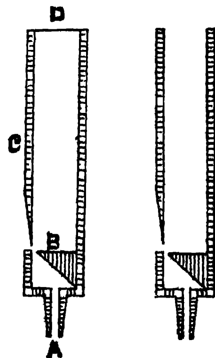
একটি শিশি বা একটি চাবির মুখে, কিংবা শাঁখে ফুঁ দিলে শব্দ বাহির হয়। ইহার কারণ হইল যে ঐ শিশি, চাবি বা শাঁখের মুখে বায়ু-চাপের পরিবর্তন বা বায়ুর আলোড়নের ফলে ভিতরের বায়ুস্তম্ভ স্পন্দন করিতে থাকে ও তাহার ফলে শব্দের সৃষ্টি হয়।

বাঁশী, ক্ল্যারিওনেট, সানাই প্রভৃতি বাদ্য-যন্ত্র (musical instrument) এই নিয়মের উপরে প্রতিষ্ঠিত। ইহাদের মুখে বাতাসের ঝাপ্টা সৃষ্টি করিয়া ভিতরের বায়ুস্তম্ভে স্পন্দন সৃষ্টি করা হয়, ফলে ইহাদের মধ্য হইতে সুমধুর সুর বাহির হয়।

বিকালে খেলার মাঠে রেফারীর বাঁশী বাজিলে তোমাদের প্রাণ অস্থির হইয়া উঠে। বাঁশীতে ফুঁ দিয়া রেফারী উহার মধ্যের বায়ুস্তম্ভকে কাঁপান, ফলে শব্দ বাহির হয়।

6.2. অর্গান পাইপ (Organ Pipes) : বাঁশী (flute), ক্ল্যারিওনেট (clarionette) প্রভৃতি অর্গান পাইপ শ্রেণীভুক্ত যন্ত্র।

6.1 নং চিত্রে একটি সরল অর্গান পাইপ দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি কাঠ বা ধাতুর নল, ইহার এক মুখ A সরু। নলের অপর প্রান্ত D যদি বন্ধ থাকে তবে ইহাকে বন্ধ অর্গান পাইপ (Closed Organ Pipe) এবং ঐ মুখ খোলা থাকিলে ইহাকে খোলা অর্গান পাইপ (Open Organ Pipe) বলা হয়।



6·1 বন্ধ ও খোলা অর্গান পাইপ

অর্গান পাইপের সরু মুখের কাছে একটি অংশ C-কে চাঁছিয়া বা অন্যভাবে তীক্ষ্ণধার বা পাত্লা (thin) করা হয়। এই অংশকে যন্ত্রের ওষ্ঠ (lip) বলে। C-এর কাছে অর্গান পাইপের গায়ে হাওয়া বাহির হইবার একটি ছিদ্র থাকে। এই

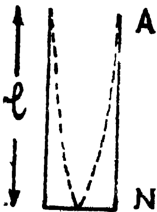
ছিদ্রের নীচে পাইপের মধ্যে একটি কাঠের ত্রিকোণ প্রস্থচ্ছেদের টুকরা B বসানো থাকে। ইহার ফলে পাইপের সরু মুখ A ও ওষ্ঠ C-এর মধ্যে একটি সুড়ংগের সৃষ্টি হয়।

A মুখ দিয়া ফুঁ দিলে বিভিন্ন কম্পাংকের বাতাসের ঝাপ্টা যন্ত্রের মধ্যে প্রবেশ করে। ইহারা যন্ত্রের মুখের সুড়ংগ দিয়া অগ্রসর হইয়া C ওষ্ঠে আহত হয় ও ফলে C-এর কম্পন হয়। এই কম্পনের ফলে বাতাসের আবর্ত নলের মূল অংশে প্রবেশ করে। এই আবর্তগুলি বিভিন্ন কম্পাংকের হইতে পারে। ইহাদের মধ্যে যে কম্পাংক নলের বাতাসের স্বাভাবিক কম্পাংকের সহিত মিলিয়া যায় তাহা বাতাসের মধ্যে অনুনাদী শব্দ-তরংগের সৃষ্টি করে। এই শব্দ-তরংগ নলের মধ্য দিয়া অগ্রসর হইয়া নলের মুখ D-তে গিয়া পৌঁছিলে উহার প্রতিফলন হয় ও ফলে নলে স্থির তরংগের উৎপত্তি হইয়া জোরালো আওয়াজের উৎপত্তি হয়।

অর্গান পাইপের নীতি আমরা নীচের বর্ণনা হইতে বুঝিতে পারিবে। উহাতে অর্গান পাইপের পরিবর্তে সহজ ধরণের নল দেখানো হইয়াছে।

6.3. বদ্ধ নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন (Vibration of Closed Air Column) :

বদ্ধনলের বায়ুস্তম্ভের মুখে যখন বাতাসের কম্পন সৃষ্টি হয়, তখন ঘনীভবন ও তনুভবনের দাপগুলি অনুদৈর্ঘ্য তরংগরূপে নলের ভিতর দিয়া গিয়া বদ্ধ মুখে প্রতিফলিত হয়। ঘনীভবনের দাপ প্রতিফলনের পরে ঘনীভবন দাপ হিসাবে ও তনুভবনের দাপ তনুভবন হিসাবেই ফেরে। এই প্রতিফলিত তরংগ যখন নূতন আগন্তুক তরংগের সহিত মিলিত হয় তখন নলে স্থির তরংগের সৃষ্টি হয়। এইভাবে বদ্ধ নলে শব্দের সৃষ্টি হয়। নলের খোলা মুখে বায়ুকণাগুলির স্পন্দন সম্ভব হয় বলিয়া সেখানে সুস্পন্দ বিন্দু ও বদ্ধ-মুখে বায়ুকণাগুলি স্পন্দন করিতে পারে না বলিয়া সেখানে নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়।



6·2

স্থির তরংগে একটি সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর দৈর্ঘ্য তরংগ-দৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ।

সুতরাং, নলে সৃষ্ট তরংগের দৈর্ঘ্য λ হইলে ও নলের দৈর্ঘ্য l হইলে,

$$l=\frac{\lambda}{4}।$$

বাতাসে শব্দের বেগ যদি V হয় ও নলে সৃষ্ট শব্দের কম্পাংক যদি n হয়,

তবে $n\lambda=V$,

অথবা $4nl=V$.........(1)

$$\therefore n=\frac{V}{4l}\text{.........(2)}$$

অতএব একটি বদ্ধ নলের কম্পনে যে কম্পাংকের শব্দ সৃষ্টি হয় তাহার কম্পাংক $=\frac{V}{4l}$ ।

র‍্যালের শুদ্ধি (Rayleigh's Correction): বৈজ্ঞানিক র‍্যালে দেখাইয়াছেন যে সুস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নলের খোলা মুখে না হইয়া খোলা মুখ হইতে একটু বাহিরে হয়। এই দূরত্বকে প্রায় 0·6r বলা যায় যেখানে r = নলের ব্যাসার্ধ।

অতএব $\lambda=4(l+06r)$ ....(3)

$$\therefore\ V=4n(l+0{\cdot}6r)\text{ ......(4)}$$

এবং $n=\frac{V}{4(l+0{\cdot}6r)}$।

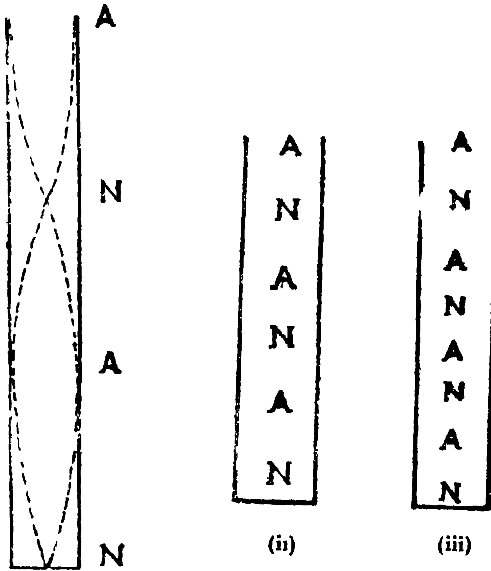
6.4. বদ্ধ নলের মূল-সুর ও উর্ধ্বতান (Fundamental and Harmonics of a closed pipe):—বদ্ধ নলে যখন বাতাসের স্থিত কম্পন (Stationary Vibration) হয় তখন নলের খোলা মুখে সুস্পন্দ বিন্দু ও বদ্ধমুখে নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থিতি বাধ্যতামূলক। কিন্তু ভিতরের বায়ু স্তম্ভের কম্পন এমন হইতে পারে যে ভিতরে সমান দৈর্ঘ্যের ব্যবধানে পরপর আরও কতকগুলি সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয় (চিত্র নং 6·3)। এই অবস্থায় যে তরংগগুলির সৃষ্টি হয় তাহাদের দৈর্ঘ্য বিভিন্ন রকমের হয়।

6·3 (i) নং চিত্রে প্রদর্শিত কম্পনে নলের ভিতরে তরংগের তিনটি অংশ (Segment) রহিয়াছে। ফলে এই তরংগের দৈর্ঘ λ_1 হইলে নলের মধ্যে λ_1-এর $\frac{3}{4}$ অংশ রহিয়াছে বলিয়া

$$l = \frac{3}{4}\lambda_1$$

$$\therefore \quad \lambda_1 = \frac{4}{3}l_1 \text{ ।}$$

অতএব এই তরংগের কম্পাংক $n_1 = \frac{V}{\lambda_1} = \frac{V}{\frac{4l}{3}} = \frac{3V}{4l}$ ....(5)



(i) 6.3

(ii) নং চিত্রে নলের মধ্যে তরংগের পাঁচটি অংশের সৃষ্টি হইয়াছে। অতএব এই তরংগের দৈর্ঘ্য λ_2 হইলে

$$l = \frac{5}{4}\lambda_2 \text{ ।}$$

$\therefore \quad \lambda_2 = \frac{4l}{5}$, এবং কম্পাংক $n_2 = \frac{V}{\lambda_2} = \frac{5V}{4l}$ ....(6)

সেইরূপ (iii) নং চিত্রে সৃষ্ট তরংগের কম্পাংক $n_3 = \frac{7V}{4l}$ । ......(7)

নলে যখন মাত্র একটি সুস্পন্দ ও একটি নিস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি করিয়া কম্পন হয়, তখন উহার শব্দের কম্পাংক $n = \frac{V}{4l}$। (চিত্র নং 6.2 দেখ)।

$$\therefore \quad n_1 = 3n$$
$$n_2 = 5n,$$
$$n_3 = 7n\text{ ।}$$

n কম্পাংক বিশিষ্ট শব্দকে বদ্ধ নলের মূল সুর (Fundamental tone) বলা হয়। ঐ দৈর্ঘ্যের বায়ুস্তম্ভে উহার অপেক্ষা কম কম্পাংকের শব্দ সৃষ্টি হয় না। n_1, n_2, n_3 প্রভৃতি কম্পাংকের শব্দগুলির কম্পন-হার মূল সুরের কম্পন হারের পূর্ণ গুণিতক (integral multiple)। ইহাদের ঊর্ধ্ব-তান বা সম-মেল (Harmonics) বলা হয়।

অতএব একটি বদ্ধ নল কোন নির্দিষ্ট মূল সুরে ও উহার অযুগ্ম গুণিতক (odd multiple) সম মেল কম্পন করিতে পারে।

6.5. সংজ্ঞা : মূল সুর (Fundamental tone) :—কোন বস্তুকে কম্পন করাইলে উহা হইতে বিভিন্ন কম্পাংকের সুর নির্গত হইতে পারে। ইহাদের মধ্যে ন্যূনতম কম্পাংকের সুরকে বস্তুটির মূল সুর বলে।

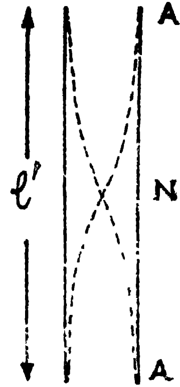
একটি সেতারের তারকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহাতে ঝন্ ঝন্ শব্দ হয়। এই শব্দে অনেকগুলি সুর মিশানো থাকে। তাহার মধ্যে ন্যূনতম কম্পাংকের সুরটিই মূল সুর। বলা হয় যে সেতার এই সুরে বাঁধা আছে।

উপসুর (Overtones) : একটি মিশ্রিত সুরের মধ্যে বিভিন্ন কম্পাংকের সুর থাকিতে পারে। ইহাদের মধ্যে মূলসুর ছাড়া বাকী যে সমস্ত উচ্চতর কম্পাংকের সুর থাকে তাহাদের মূল সুরের উপসুর বলে। হারমোনিয়ামের "রে" সুর মূল সুর "সা" এর একটি উপসুর, ইহার কম্পাংক মূলসুরের কম্পাংকের $\frac{9}{8}$ গুণ।

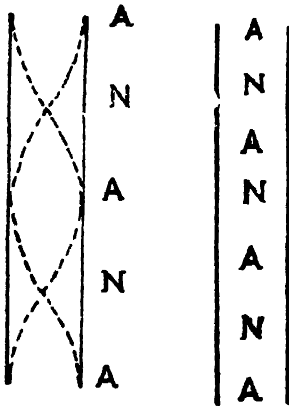
ঊর্ধ্বতান (Harmonics) : কোন বস্তুর কম্পনে বিভিন্ন সুরের শব্দ বাহির হইলে, তাহার মধ্যে সৃষ্ট উপসুরগুলির কতকগুলির কম্পাংক মূল সুরের কম্পাংকের পূর্ণ গুণিতক হয়। তাহাদের মূল সুরের ঊর্ধ্বতান বলে।

হারমোনিয়ামের মুদারার 'সা' উদারার 'সা'-এর ঊর্ধ্বতান মূল সুরের দ্বিগুণ কম্পাংকের ঊর্ধ্বতানকে প্রথম ঊর্ধ্বতান (First Harmonic) বা অষ্টক (*Octave*) বলে। তিনগুণ কম্পাংকের ঊর্ধ্বতান মূল সুরের দ্বিতীয় ঊর্ধ্বতান বলিয়া অভিহিত।

6.6. খোলা নলের কম্পন (Vibration of an open pipe) : খোলা অর্গান পাইপের কম্পনের প্রকৃতি বুঝাইবার জন্ত খোলা নলের কম্পন আলোচনা আবশ্যক। 6·4 নং চিত্রে খোলা নলের কম্পনের প্রকৃতি দেখানো হইয়াছে। এই নলের দুই মুখই খোলা। এই নলের কোন মুখে ঘনীভবন বা তনুভবন তরংগ-দাপ প্রেরণ করিলে তাহা নলের মধ্য দিয়া অপর প্রান্তে পৌঁছায় ও সেখানে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসে। প্রমাণ করা যায় যে ঘনীভবন দাপ খোলা মুখে প্রতিফলনের ফলে তনুভবন দাপে, ও তনুভবন দাপ ঘনীভবন দাপে পরিণত হয়। প্রতিফলিত তরংগ নূতন আগন্তুক তরংগের সহিত মিলনে স্থির তরংগের সৃষ্টি করে। নলের দুই খোলা মুখে বাতাসের কণার কম্পন সম্ভব বলিয়া দুই মুখেই সুস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়। সরলতম কম্পনে মধ্যস্থলে একটি নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়। অনেক সময়ে মধ্যে সমদূরত্বে পরপর অনেকগুলি সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুও থাকিতে পারে (চিত্র নং 6·5)।



6·4



(i) 6·5 (ii)

খোলা নলের মূল-স্বর : খোলা নলের বায়ুস্তম্ভ যখন কম্পন করে তখন নলের দুইমুখে দুইটি সুস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়। এই দুই বিন্দুর মধ্যস্থলে যখন একটি মাত্র নিস্পন্দ বিন্দু থাকে (চিত্র নং 6·4) তখন উহা হইতে যে স্বর বাহির হয় তাহাকে খোলা নলের মূল স্বর (fundamental) বলে।

এই অবস্থায় নলের মধ্যে তরংগের দুইটি অংশ থাকে, অতএব উহা তরংগ-দৈর্ঘ্যের অর্ধেক। তরংগ-দৈর্ঘ্য λ' কম্পাংক n' ও বাতাসে শব্দের বেগ V হইলে, নলের দৈর্ঘ্য

$$l' = \frac{\lambda'}{2};$$

$$\therefore \quad V = n'\lambda' = 2n'l' \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

$$\therefore \quad n' = \frac{V}{2l'} \text{।} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(9)$$

খোলা নলের উর্ধ্বতান : খোলা নলের বায়ুস্তম্ভ দুইটি মুখে সুস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান স্থির রাখিয়াও এমন ভাবে কম্পন করিতে পারে যে নলের ভিতরে একাধিক সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়। এই অবস্থায় নলের মধ্যে যে তরংগের সৃষ্টি হয় তাহার দৈর্ঘ্য মূল সুরের দৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম।

6·5 (i) নং চিত্রে বায়ুস্তম্ভ এমন ভাবে কম্পন করিতেছে যে নলের মধ্যে তরংগের চারিটী অংশের সৃষ্টি হইয়াছে। অতএব নলের দৈর্ঘ্য তরংগ দৈর্ঘ্যের সমান। তরংগ-দৈর্ঘ্য λ'_1 ও কম্পাংক n'_1 হইলে,

$$l' = \lambda'_1$$

$$\therefore \quad V = n'_1\lambda'_1 = l'n'_1$$

$$\text{অথবা} \quad n_1' = \frac{V}{l'} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(10)$$

সেইরূপ 6·5 (ii) নং চিত্রে সৃষ্ট তরংগ-দৈর্ঘ্য $\lambda'_2 = \frac{2}{3}l'$।

$$\text{অতএব} \quad V = n_2\lambda'_2{}' \quad [\, n_2' = \text{কম্পাংক}\,]$$

$$= n_2'.\ \tfrac{2}{3}\,l'$$

$$\therefore \quad n_2' = \tfrac{3}{2}\,V/l' \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(11)$$

তাহা হইলে দেখ $n_1' = 2n'$, এবং $n_2' = 3n'$।

অতএব খোলা নলে মূল সুরের যুগ্ম ও অযুগ্ম উভয় প্রকার গুণিতক কম্পাংকের উর্ধ্বতান সৃষ্টি হইতে পারে।

স্বভাবতঃই বুঝিতে পার, খোলা নলে আরও উর্ধ্বতানের সৃষ্টি সম্ভব।

কোন বদ্ধ বা খোলা নলে বাতাস প্রবেশ করাইলে মূল সুরের সহিত উর্ধ্বতানের সৃষ্টি হয়, সেজন্য নলে শুদ্ধ সুর সৃষ্টি করা কঠিন।

কোন সুরের সহিত উহার উর্ধ্বতান মিশানো থাকিলে যে মিশ্র সুরের সৃষ্টি হয় তাহা মূল সুর অপেক্ষা কানে মিষ্ট লাগে। খোলা নলের সুরে বেশী উর্ধ্বতান মিশানো থাকে, কারণ এখানে যুগ্ম ও অযুগ্ম উভয় শ্রেণীর গুণিতক কম্পাংকই থাকিতে পারে। সেজন্য খোলা নলের সুর বদ্ধ নল অপেক্ষা বেশী মিষ্ট হয়।

6.7. একই দৈর্ঘের খোলা ও বদ্ধ নলে সুরের তারতম্য :

আমরা দেখিয়াছি যে বদ্ধনলের দৈর্ঘ্য l হইলে, ও শব্দের বেগ V হইলে, ঐ নলের মূল সুরের কম্পাংক

$$n = \frac{V}{4l}$$ ।

আবার, খোলা নলের দৈর্ঘ্য l' হইলে, উহার মূল সুরের কম্পাংক

$$n' = \frac{V}{2l'}$$ ।

তাহা হইলে, $l = l'$ হইলে, অর্থাৎ খোলা ও বদ্ধ নলের দৈর্ঘ্য এক হইলে

$$n' = 2n$$ ।

অতএব খোলা নলের মূল সুরের কম্পাংক একই দৈর্ঘ্যের বদ্ধ নলের কম্পাংকের দ্বিগুণ।

আমরা যদি খোলা নলের একমুখ হাত দিয়া চাপিয়া ধরি, তবে উহার আওয়াজ খাদে নামিয়া যাইবে।

6.8. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয় (Determination of Velocity of Sound in Air by Resonant Air Column) :

একটি বদ্ধ নলের বায়ুস্তম্ভ স্পন্দিত হইলে উহার মধ্যে স্থির তরংগের কম্পন সৃষ্টি হয় ও উহার খোলা প্রান্তে সুস্পন্দ বিন্দু ও বদ্ধ প্রান্তে নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়। তখন উহা হইতে শব্দ নির্গত হয়। বায়ুস্তম্ভটি যদি মূল সুরে কম্পন করে তবে উহার মধ্যে যে তরংগ জন্মায় তাহার দৈর্ঘ্য $\lambda = \frac{l}{4}$ ।

অতএব বাতাসে শব্দের বেগ V হইলে,

মূল সুরের কম্পাংক $n = \frac{V}{\lambda} = \frac{V}{4l}$ ।

অতএব আমরা যদি n কম্পাংক-বিশিষ্ট একটি সুরশলাকাকে উদ্দীপিত করিয়া এই দৈর্ঘ্যের মুখে ধরি, তবে উহার ও বায়ুস্তম্ভের স্বাভাবিক কম্পাংক সমান হওয়ায় বায়ুস্তম্ভের অনুনাদ হইয়া জোরে শব্দ হইবে।

সুরশলাকার কম্পাংক জানা থাকিলে, বাতাসে শব্দের বেগ।

$$V = 4l n \quad \text{......(i)}$$

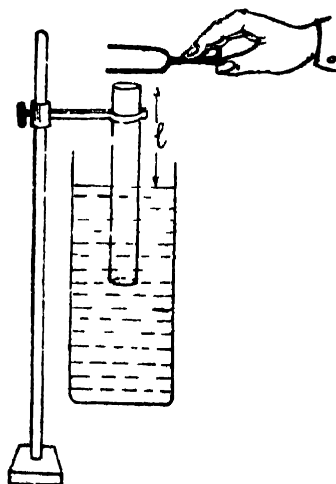
সংকেত হইতে বাহির করা যায়

এই নিয়মের উপর ভিত্তি করিয়া শব্দের বেগ নির্ণয় করা যায়। একটি নলের একমুখ এমন ভাবে বন্ধ করা হয় যে প্রয়োজন মত বদ্ধ নলটির দৈর্ঘ্য

বদলানো যায়। জানা কম্পাংক বিশিষ্ট একটি কম্পমান সুরশলাকা নলটির খোলামুখে ধরা হয় ও নলটির দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন করা হয়। যখন অনুনাদ ঘটে তখন স্বভাবতঃই সেই দৈর্ঘ্যের বায়ুস্তম্ভের কম্পমান সুরশলাকার কম্পাংকের সমান হইবে, অতএব (i) নং সঙ্কেত হইতে শব্দের বেগ নির্ণয় করা যায়।

পরীক্ষা : কাঁচের জার বা সুগভীর পাত্রে জল লওয়া হয়। একটি দুই মুখ খোলা দীর্ঘ কাঁচের বা ধাতুর চোঙ লইয়া স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে পাত্রের জলের মধ্যে খাড়া করিয়া রাখা হয় যেন নলের একমুখ জলের পৃষ্ঠের নীচে থাকে। ফলে নলের মধ্যে জলের যে পৃষ্ঠ তাহা নলের বদ্ধমুখের কাজ করে। নলের মধ্যে জলের তল হইতে নলেব খোলা মুখ পর্যন্ত দৈর্ঘ্যকে বদ্ধ নলটির দৈর্ঘ্য বলা হয়।

একটি জানা কম্পাংক-বিশিষ্ট সুরশলাকাকে রবারের হাতুড়ির সাহায্যে উদ্দীপিত করিয়া নলের খোলা মুখের ঠিক উপরে ধরা হয় যেন উহার কোন বাহুর প্রেরিত কম্পন সোজা নলের মধ্যে ঢুকিতে পারে (চিত্র 6·6)। সাধারণতঃ নলের কম্পাংক সুরশলাকার কম্পাংক হইতে অনেকটা পৃথক হওয়ায় নলের বাতাসের কম্পন হইবে না (প্রকৃত পক্ষে অতি সামান্য পরিমাণ পরবশ কম্পন হয়) ও কোন শব্দ বাহির হইবে না। নলটি উঠা-নামা করাইয়া উহার দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিলে একসময় নল হইতে মৃদু শব্দ বাহির হয়। এখন নলের বাতাসের কম্পাংক সুরশলাকার কম্পাংকের



৬·6

কাছাকাছি, ও নলের বায়ুস্তম্ভের পরবশ কম্পন হইতেছে। নলটি আর সামান্য একটু উঠানামা করিলেই শব্দ খুব জোরালো হইয়া ওঠে। নল

হইতে নির্গত শব্দের প্রাবল্য নলের যে দৈর্ঘ্য উচ্চতম, সেই দৈর্ঘ্যে বায়ুস্তম্ভের কম্পাংক সুরশলাকার কম্পাংকের সমান।

নলটিকে উপর হইতে নীচে নামাইয়া এবং নীচ হইতে উপরে উঠাইয়া অনুনাদী দৈর্ঘ্যের তিনটি পাঠ লওয়া হয় ও গড় অনুনাদী দৈর্ঘ্য বাহির করা হয়। এই দৈর্ঘ্য l হইলে ও সুরশলাকার (অর্থাৎ বায়ুস্তম্ভের) কম্পাংক n হইলে, শব্দের বেগ

$$V = 4ln \cdots\cdots\cdots\cdots (ii)$$

প্রান্তিক শুদ্ধি (End Correction) : বিজ্ঞানী র‍্যালের মতানুসারে বদ্ধ নলের স্পন্দনের সময়ে সুস্পন্দ বিন্দুর অবস্থায় নলের ঠিক খোলা মুখে না হইয়া মুখের একটু বাহিরে হয়।

তাঁহার হিসাবে, অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $l_0 = l + 0{\cdot}6r$ (r = নলটির ব্যাসার্ধ)।

অতএব (ii) নং সংকেতটি শুদ্ধ হিসাবে

$$V = 4(l + 0{\cdot}r)n \text{ হইবে।}$$

অতএব, স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে নলটির গড় ব্যাস মাপিয়া ও নলের দৈর্ঘ্যের সহিত 0·6r যোগ করিয়া প্রকৃত অনুনাদী দৈর্ঘ্য পাওয়া যাইবে ও তখন শব্দের বেগ ঠিক ঠিক বাহির হইবে।

প্রান্তিক শুদ্ধির দূরীকরণ (Elimination of End Correction) : প্রান্তিক শুদ্ধির মধ্যে নানা কারণে কিছুটা অনিশ্চয়তা থাকিয়া যায়। পরীক্ষার জন্য যদি দীর্ঘ নল পাওয়া যায়, তবে প্রান্তিক শুদ্ধিকে একভাবে দূর করা যায়।

একটি বদ্ধ বায়ুস্তম্ভ শুধু যে নিজের স্বভাবী কম্পন-মানেই উদ্দীপিত হইতে পারে তাহা নহে, ইহা নিজের মূল-সুরের 3, 5, 7, 9,…প্রভৃতি অযুগ্ম গুণিতক কম্পাংকেও স্পন্দিত হইতে পারে।

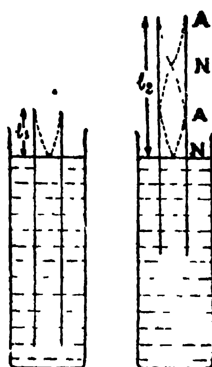
এই নিয়মের উপর ভিত্তি করিয়া কাজ করা যায়।

প্রথমে নলটিকে উঠানামা করাইয়া উহার বায়ুস্তম্ভকে সুরশলাকার সহিত অনুনাদী করা হয়। এই অবস্থায় উহার দৈর্ঘ্য l_1 হইলে ও প্রান্তিক শুদ্ধি x হইলে,

$$l_1 + x = \frac{\lambda}{4} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (a)$$

এখন নলটিকে আরও তুলিয়া যদি বদ্ধ অংশের দৈর্ঘ্যকে l_1-এর প্রায়

3-গুণ করা হয়, তবে যখন এই দৈর্ঘ্যের (মূল-সুরের) 3 গুণ কম্পাংক-বিশিষ্ট



6·7

ঊর্ধ্বসুর সুরশলাকার কম্পাংকের সহিত মিলিয়া যাইবে, তখন 6·7 নং চিত্রের ন্যায় অবস্থায় সুরশলাকার দ্বারা বায়ুস্তম্ভটি আবার উদ্দীপ্ত হইয়া কম্পন করিতে থাকিবে।

এই অবস্থায় নলের দৈর্ঘ্য l_2 হইলে, ও প্রান্তিক শুদ্ধি x হইলে, এখন যদি মূল সুরের কম্পাংক n′ ও তরংগ-দৈর্ঘ্য λ' হয়, তবে l' সুরশলাকার তরংগ-দৈর্ঘ্যের (λ) 3 গুণ, কারণ $n' = \frac{n}{3}$।

$$\therefore \quad l_2 + x = \frac{\lambda'}{4} = \frac{3\lambda}{4} \qquad \text{.........(b)}$$

(b) হইতে (a) বিয়োগ করিলে,

$$l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2} \qquad \text{.........(c)}$$

লক্ষ্য করিয়া দেখ যে (c) নং সংকেতে x-কে বাদ দিয়াই λ-এর মান পাওয়া গেল।

অতএব, $\lambda = 2(l_2 - l_1)$

$$\therefore \quad V = n\lambda = 2n(l_2 - l_1) \qquad \text{.........(d)}$$

l_1 ও l_2 দৈর্ঘ্যকে বার বার মাপিয়া গড় পাঠ লওয়া হয় ও V-এর মান বাহির করা যায়।

6.9. তাপমাত্রার জন্য শুদ্ধি :

বীক্ষণাগারে অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে বাতাসে শব্দের যে মান বাহির হয়, তাহা বীক্ষনাগারের তাপমাত্রায় (t° সে.) বেগ। 0° সে. তাপমাত্রায় বেগ বাহির করিবার জন্য তাপমাত্রা জনিত শুদ্ধি প্রয়োগ করিতে হয়। 0° সে. তাপমাত্রায় শব্দের বেগ V_0 হইলে,

$$v_0(1+0{\cdot}00183t) = V \quad (t = \text{ঘরের তাপমাত্রা})।$$

অতএব $$V_0 = \frac{V}{1+{\cdot}00183t}।$$

6.10. আর্দ্রতার জন্য শুদ্ধি :

বদ্ধ নলটির একমুখে জল থাকে বলিয়া নলের বায়ুস্তম্ভ জলীয় বাষ্পে সংপৃক্ত থাকে। সে জন্য উহাকে আর্দ্রতার জন্যও শুদ্ধ করিয়া লওয়া উচিত। বায়ুমণ্ডলীয় চাপ P-তে শুষ্ক বাতাসে t° সে. তাপমাত্রায় শব্দের বেগ V_d হইলে, ও বাতাসে জলীয় বাষ্পের সংপৃক্ত চাপ f হইলে,

$$V_d = V\sqrt{1 - 0{\cdot}378\frac{f}{P}},$$

6.11. চাপের জন্য শুদ্ধি :

গ্যাসের চাপের হ্রাসবৃদ্ধির জন্য শব্দের বেগের কোন পরিবর্তন হয় না।

6.12. তাপমাত্রা ও আর্দ্রতার জন্য শুদ্ধির যুগ্ম ফল :

0° সে, তাপমাত্রায় ও শুষ্ক বাতাসে শব্দের বেগ c হইলে,

$$c = \frac{V\sqrt{1 - 0{\cdot}378\frac{f}{P}}}{(1+{\cdot}00183t)}।$$

6.13. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে সুরশলাকার কম্পাংক নির্ণয় (Determination of the frequency of a tuning fork with the help of a resonant air column) :

মনে কর তোমাকে সুরশলাকার যে কম্পাংক বাহির করিতে হইবে তাহাকে n′ বলা হইল।

একটি সুরশলাকা লইতে হইবে যাহার কম্পাংক n জানা আছে।

6.8. অনুসারে এই সুরশলাকাটি ব্যবহার করিয়া একটি অনুনাদী

*বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে ঘরের তাপমাত্রায় ও আর্দ্রবাতাসে শব্দের বেগ বাহির হইল।

তাহা হইলে বায়ুস্তম্ভের প্রথম অনুনাদী দৈর্ঘ্য l_1 ও দ্বিতীয় অনুনাদী দৈর্ঘ্য l_2 হইলে,

$$V = n\lambda = 2n(l_2 - l_1) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (d)$$

-এখন, অজ্ঞাত কম্পনাংক n′ বিশিষ্ট সুরশলাকাটি লইয়া তাহার দ্বারা অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য l'_1 ও l'_2 বাহির করা হইল। তাহা হইলে একই সংকেত অনুসারে,

$$V = n'\lambda' = 2n'(l_2' - l_1')_1 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (d')$$

এখন এই সংকেতে (d) সংকেত হইতে প্রাপ্ত V-এর মান প্রয়োগ করিলে n′ বাহির হয়।

কিংবা, (d) ও (d′) সংকেত যুক্ত করিয়া,

$$V = 2n'(l_2' - l_1') = 2n(l_2 - l_1)$$

$$\therefore \quad n' = n. \frac{(l_2 - l_1)}{(l_2' - l_1')}$$ ।

লক্ষ্য কর, এখানে তাপমাত্রা বা আর্দ্রতার জন্য শব্দের বেগে কোন শুদ্ধি প্রয়োগ প্রযোজন হয় না, কারণ V-এর প্রকৃত মান ফল নির্ণয়ে দরকার হয় না।

6.14. বিভিন্ন গ্যাসে শব্দের বেগ নির্ণয় :

বাতাসের পরিবর্তে নলে অন্য গ্যাস ভরিয়া এই উপায়ে সেই গ্যাসে শব্দের বেগ বাহির করা যায়। তবে ইহার অসুবিধা আছে, কারণ গ্যাস বাহির হইয়া যাইতে পারে। কুণ্ডটের পরীক্ষার সাহায্যে বিভিন্ন গ্যাসে শব্দের বেগ বাহির করা সুবিধাজনক।

গ্যাসে শব্দের বেগ উহার ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক। অতএব, একটি স্থির দৈর্ঘ্যের বদ্ধ নলে প্রথমে বাতাস ও পরে গ্যাস লইয়া পরীক্ষা করিলে বিভিন্ন কম্পাংকের সুর নির্গত হইবে।

বাতাসের ও গ্যাসের ঘনত্ব যথাক্রমে ρ ও ρ', এবং উহাদের মধ্যে শব্দের বেগ যথাক্রমে V ও V′ হইলে, যেহেতু l ধ্রুবক, অতএব $\lambda = 4l$ উভয়ের বেলায়ই সমান।

এখন, $V = n\lambda = 4nl$,

এবং $V' = n'\lambda = 4n'l$, কারণ V' পৃথক হওয়ায় স্বভাবতঃই কম্পাংক পৃথক হইবে।

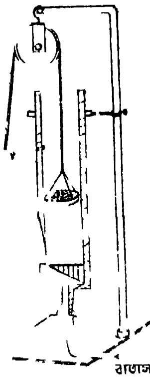
$$\therefore \frac{n'}{n} = \frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{\rho}{\rho'}} \quad \therefore \quad n' = n.\sqrt{\frac{\rho}{\rho'}}$$

গ্যাসের স্তম্ভটি যে সুরশলাকার দ্বারা উদ্দীপিত হইবে তাহার কম্পাংক জানিয়া গ্যাসে শব্দের বেগ বাহির হয়।

6.15. অর্গান নলের সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় :

অর্গান নলের মুখ খোলা হইলে খুব সহজে উহার মধ্যে সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় করা যায়।

পরীক্ষা : একটি স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে খাড়া করিয়া একটি খোলা অর্গান নলকে আটকাইয়া রাখা হইল। নলের সরু মুখে একটি পা-হাপর (foot-bellows) যুক্ত করিয়া খুব আস্তে আস্তে বাতাস পাঠাইয়া নলকে উদ্দীপিত করা যায়। স্ট্যাণ্ডের মাথায় একটি পুলি আটকানো হয়।



6·8

মিহি বালি খুব ভাল করিয়া শুকাইয়া লওয়া হয়। কাগজ দিয়া তুলার (balance) প্যানের মত একটি প্যান তৈয়ারী করিয়া উহাকে সুতায় বাঁধিয়া লওয়া হয় ও সুতাটি পুলির সাহায্যে টানিয়া প্যানটি অর্গান নলের মধ্যে উঠানো-নামানো যায়। প্যানের মধ্যে বালি ছড়াইয়া লইয়া প্যানটি উঠানামা করিলে ও নলের মধ্যে বাতাস পাঠাইলে দেখা যাইবে যে প্যানটি যখন কোন সুস্পন্দ বিন্দুতে আসে তখন বালুকণাগুলি সবেগে স্পন্দিত হয়, আর নিস্পন্দ বিন্দুতে উহাদের কোন স্পন্দন হয় না।

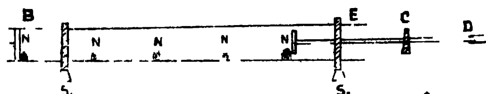
এই প্রণালী বদ্ধ অর্গান নলে প্রযোজ্য নয় কারণ সেখানে প্যানটিকে উঠানামা করান যায় না।

6.16. কুণ্ডটের পরীক্ষা (Kundt's Experiment) :

80-100 সেমি দীর্ঘ, 5-6 সেমি ব্যাস-বিশিষ্ট একটি কাচের নলকে ভিতরে গরম বাতাস চালাইয়া শুকাইয়া লওয়া হয়। উহাকে টেবিলের উপর S_1 S_2 স্ট্যাণ্ডের সাহায্যে শক্ত করিয়া বসানো হয়।

একটি পিতলের দণ্ড ED-কে ঠিক মধ্য-বিন্দু C-তে শক্ত করিয়া টেবিলে

আটকাইয়া বসান হয় ও উহার এক প্রান্ত E-তে একটি কার্ডবোর্ড বা ইব-নাইটের ঢিলা চাকৃতি লাগাইয়া নলের মধ্যে প্রবেশ করানো হয়। নলের



6·9

অপর প্রান্ত একটি রবারের ছিপি B দ্বারা বন্ধ করা যায়, এবং প্রয়োজন মত B-কে ভিতরে ঢুকানো বা বাহির করা যায়।

মিহি লাইকোপোডিয়াম গুঁড়া ভাল করিয়া রৌদ্রে শুকাইয়া লওয়া হয়। একটি মিটার স্কেলের উপরে উহাকে সমান করিয়া ছড়াইয়া দেওয়া হয়। এখন স্কেলটি সাবধানে নলের মধ্যে পুরা ঢুকাইয়া কাত্ করিয়া দিলে নলের মধ্যে লাইকোপোডিয়াম গুঁড়ার একটি রেখা পড়ে। B ছিপি দ্বারা নলটি বন্ধ করা হয়। খস্‌খসে কাপড় দিয়া পিতলের দণ্ডকে দৈর্ঘ্য বরাবর ঘষিলে উহা হইতে একটি তীক্ষ্ণ শব্দ বাহির হয়। দণ্ডটির অনুদৈর্ঘ্য কম্পন হইতে থাকে, এবং C-তে নিস্পন্দ বিন্দু, ও E এবং D-তে সুস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়। B ছিপিকে সরাইয়া যখন নলের বায়ুস্তম্ভের কোন সুরকে পিতলের দণ্ডের সুরের সহিত এক কম্পাংক বিশিষ্ট করা যায়, তখন নলের বায়ুস্তম্ভ কাঁপিতে থাকে, এবং উহার মধ্যে লাইকোপোডিয়াম গুঁড়াও স্পন্দিত হইতে থাকে। কিছুক্ষণ পরে গুঁড়া নিস্পন্দ বিন্দুতে জমা হয়। দুইটী নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে সুস্পন্দ বিন্দু থাকে।

এই পরীক্ষার ভিত্তিতে বিভিন্ন বস্তুতে শব্দের বেগ, বিভিন্ন গ্যাসে শব্দের বেগ প্রভৃতি বাহির করা সম্ভব। দুইটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যের দূরত্ব $\lambda/2$ হয় নলে গ্যাস ভরা হয়। পিতলের দণ্ডে শব্দের কম্পাংক জানা থাকিলে গ্যাসেও কম্পাংক তাহাই হইবে। স্বভাবতঃই $V=n\lambda$ সংকেতের সাহায্য v বাহির হয়। আবার গ্যাসে শব্দের বেগ জানা থাকিলে $v=n\lambda$ সংকেতের সাহায্যে n বাহির করিয়া ED-কে দণ্ডে শব্দের তরংগ-দৈর্ঘ্য λ'-এর অর্ধেক ধরিয়া $V'=n\lambda'$ সংকেতের সাহায্যে দণ্ডে শব্দের বেগ V বাহির হয়।

অনুশীলন :

দ্রষ্টব্য : বায়ুস্তম্ভের পরীক্ষা ঘরের তাপমাত্রায় হয় বলিয়া নীচের

প্রশ্নগুলিতে শব্দের বেগ 330 মি./সে. এর পরিবর্তে ঘরের তাপমাত্রায় যে বেগ হয় তাহার কাছাকাছি ধরা হইয়াছে।

(a) একটি বদ্ধ নলের দৈর্ঘ্য 26·5 সেমি.। উহার মূল সুরের কম্পাংকে 320/সেকেণ্ড। বাতাসে শব্দের বেগ কত?

নলের দৈর্ঘ্য $l = 26{\cdot}5$ সেমি. l কম্পাংক $n = 320$/সে.।

বদ্ধ নলের বদ্ধ মুখে নিস্পন্দ বিন্দু ও খোলা মুখে সুস্পন্দ বিন্দুর উৎপত্তি হয়। অতএব উহার দৈর্ঘ্য $l = \frac{\lambda}{4}$, যেখানে λ = তরংগ-দৈর্ঘ্য।

$\therefore$ শব্দের বেগ $V = n\lambda = n.4l = 320 \times 4 \times 26.5$

$= 33920$ সেমি./সে.

$= 339.2$ মিটার/সে.।

(b) একটি খোলা নলের দৈর্ঘ্য 45 সেমি.। শব্দের বেগ 342 মি./সে. হইলে নলটি হইতে কত কম্পাংকের মূল সুর নির্গত হয়? ইহা ছাড়া উহা হইতে ন্যূনতম কম্পাংকের আরও কোন্ দুটি শব্দ উৎপন্ন হয়?

খোলা নলে মূল সুর উৎপন্ন হইলে দুই মুখে সুস্পন্দ বিন্দু ও মধ্যে নিস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হয়। অতএব ইহার দৈর্ঘ্য $l = \frac{\lambda}{2}$ (λ = তরংগ-দৈর্ঘ্য)।

শব্দের বেগ = 342 মি./সে. = 342×100 সেমি./সে.।

$\therefore$ $V = n\lambda$ সংকেত হইতে

$$n = \frac{V}{\lambda} = \frac{342 \times 100}{2 \times 45} = 380 \text{ কম্পন/সেকেণ্ড।}$$

খোলা নলে মূল সুর ছাড়াও ঊর্ধ্বতানের উৎপত্তি সম্ভব।

মূল সুরের কম্পাংক n হইলে, উৎপন্ন ঊর্ধ্বতানের কম্পাংক = 2n, 3n 4n⋯।

প্রশ্নে ঊর্ধ্বতানগুলির মধ্যে কম কম্পাংকের ঊর্ধ্বতানগুলির কথা জিজ্ঞাসা করা হইয়াছে।

$\therefore$ নির্ণেয় শব্দের কম্পাংক = 2n ও 3n

$= 2 \times 380$ এবং 3×380

= 760 এবং 1140 কম্পন/সেকেণ্ড।

দ্রষ্টব্য: দ্বিগুণ কম্পাংকের ঊর্ধ্বতানকে মূলসুরের অক্টেভ (Octave) প্রথম ঊর্ধ্বতান (First (Harmonic), এবং ত্রিগুণ

কম্পাংকের উর্ধ্বতানকে মূল সুরের দ্বিতীয় উর্ধ্বতান (Second Harmonic) বলা হয়।

(c) একটি বদ্ধ অর্গান নলের দৈর্ঘ্য কত হইলে উহার উৎপন্ন মূল সুরের কম্পাংকে 480/সে. হইবে ? (শব্দের বেগ 1120 ফু./সে.)।

নলের দৈর্ঘ্য l, তরংগ-দৈর্ঘ্য λ, কম্পাংক n ও শব্দের বেগকে V বলিলে,

$$l = \frac{\lambda}{4},$$

এবং $V = n\lambda$।

$$\therefore \lambda = \frac{V}{n}$$

এবং $l = \frac{V}{4n} = \frac{1120}{4 \times 480}$ ফুট $= 7$ ইঞ্চি।

(d) একটি সুরশলাকা সেকেণ্ড 256 বার কম্পন করে। একটি খোলা নলের দৈর্ঘ্য কত হইলে উহা সুরশলাকার সহিত একই সুর উৎপন্ন করিবে ? (বাতাসে শব্দের বেগ =1100 ফুট/সেকেণ্ড)। (C. U. 1952)।

খোলা নলের কম্পন-হার = n, দৈর্ঘ্য = l, এবং বাতাসে শব্দের বেগকে V ধরিলে,

$$n = \frac{V}{2l}।$$

$$\therefore \quad l = \frac{V}{2_n} = \frac{1100}{2 \times 256} = 2{\cdot}15 \text{ ফুট।}$$

(e) 400/সেকেণ্ড কম্পাংকের একটী সুরশলাকাকে উদ্দীপ্ত করিয়া একটী বদ্ধ নলের মুখে ধরা হইল। বদ্ধ নলের দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন করিয়া যখন 20 সেমি. করা হইল তখন অনুনাদ হইল। নলের ব্যাস 4 সেমি. হইলে বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয় কর।

নলের দৈর্ঘ্য =20 সেমি.।

কম্পমান বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $= l + 0{\cdot}r = 20{\cdot} + {\cdot}6 \times 2 = 21{\cdot}2$ সেমি.।

$\therefore$ তরংগ-দৈর্ঘ্য $\lambda = 4(l + 0{\cdot}6r) = 4 \times 21{\cdot}2$ সেমি.।

$\therefore$ শব্দের বেগ $V = n\lambda = 400 \times 4 \times 21{\cdot}2 = 33920$ সেমি./সে.

$= 339{\cdot}2$ মি/সে.।

(f) 200 কম্পাংকের একটী সুরশলাকা একটী 41·8 সেমি. দৈর্ঘ্যের বদ্ধ নলের

সহিত অণুনাদী হয়। বাতাসে শব্দের বেগ 344 মি./সে. হইলে নলের ব্যাস বাহির কর।

নলের দৈর্ঘ্য $l = 41\cdot8$ সেমি. ; ব্যাসার্ধ $= r$।

$\therefore$ কম্পমান বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $= (l + 0\cdot6r) = (41\cdot8 + 0\cdot6r)$ সেমি.।

$\therefore$ তরংগ-দৈর্ঘ্য $\lambda = 4(41\cdot8 + 0\cdot6r)$ সেমি.।

$\therefore$ $V = n\lambda$ সংকেত অনুসারে,

$$344 \times 100 = 200 \times 4(41\cdot8 + \cdot6r)$$

$$\therefore \quad 41\cdot8 + \cdot6r = \frac{344 \times 100}{200 \times 4} = 43 \text{ সেমি.}$$

$$\therefore \quad \cdot6r = 43 - 41\cdot8 = 1\cdot2 \text{ সেমি.}$$

$$\therefore \quad r = 2 \text{ সেমি.}$$

$\therefore$ ব্যাস $d = 4$ সেমি.।

(g) 280 কম্পাংকের একটি স্বরশলাকাকে একটী নলের মুখে ধরা হইল ; নলটির মধ্যে জল আছে এবং প্রয়োজন মত জলের পৃষ্ঠের উচ্চতা পরিবর্তন করা যায়। নলের 31 সেমি. ও 97 সেমি. দৈর্ঘ্যে অনুনাদ হয়। শব্দের বেগ ও নলের ব্যাসার্ধ বাহির কর।

শব্দের বেগ $V = 2n(l_2 - l_1) = 2 \times 280 \times (97 - 31)$

$= 560 \times 66 = 36960$ সেমি./সে.

$= 369\cdot6$ মি./সে.।

আবার, বেগ $V = 4n(l_1 + 0\cdot6r)$

$$\therefore \quad 36960 = 4 \times 280(31 + \cdot6r)$$

$$\therefore \quad 31 + \cdot6r = \frac{36960}{2 \times 560} = 33 \text{ সেমি.}$$

$$\therefore \quad \cdot6r = 2 \text{ সেমি.}$$

$$\therefore \quad r = 3\cdot33 \text{ সেমি.}$$

(h) 342/সেকেণ্ড কম্পাংকের একটি কম্পমান স্বরশলাকাকে এক বদ্ধ নলের মুখে ধরা হইল। ঘরের তাপমাত্রা 27° সে. হইলে, এবং 0° সে. তাপমাত্রার বাতাসে শব্দের বেগ 332 মিটার/সেকেণ্ড হইলে, ক্ষুদ্রতম কত দৈর্ঘ্যে নলটি অনুনাদী হইবে ? (প্রান্তিক শুদ্ধি নাই)।

মনে কর 27°সে. তাপমাত্রায় 30°সে. তাপমাত্রায় শব্দের বেগ যথাক্রমে V_t ও V_o।

$$\therefore \frac{V_t}{V_o}=\sqrt{\frac{273+27}{273}}=\sqrt{\frac{300}{273}}$$

$$\therefore V_t=V_o\sqrt{\frac{300}{273}}=348\cdot6 \text{ মিটার/সেকেণ্ড।}$$

$$=34860 \text{ সেমি./সেকেণ্ড।}$$

সুতরাং, $V_t=nl$,

আবার $\lambda=4l$ হওয়ায়

$$34860=342\times4\,l$$

$$\therefore l=\frac{34860}{342\times4}=25\cdot48 \text{ সেমি.।}$$

(i) 15°সে. তাপমাত্রায় একটি খোলা অর্গান নলের মূল সুরের কম্পাংক 400। নলটির দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত রাখিলে কত তাপমাত্রায় উহা 450 কম্পাংকের মূল সুর উৎপন্ন করিবে?

মনে কর নির্ণেয় তাপমাত্রা t°সে. এবং সেই তাপমাত্রায় শব্দের বেগ V_t।

$$\frac{V_{15}}{V_o}=\sqrt{\frac{273+15}{273}}, \text{ এবং } \frac{V_t}{V_o}=\sqrt{\frac{273+t}{273}}$$

$$\therefore \frac{V_t}{V_{15}}\sqrt{\frac{273+t}{273+15}}=\sqrt{\frac{273+t}{278}}$$

নলটির দৈর্ঘ্য l হইলে, তরংগ-দৈর্ঘ্য $\lambda=2l$।

$$\therefore V_{15}=400\times2l,$$

এবং $V_t=450\times2l$।

$$\therefore \frac{V_t}{V_o}=\sqrt{\frac{273+t}{288}}=\frac{450}{400}=\frac{9}{8}$$

$$\therefore \sqrt{\frac{273+t}{288}}=\frac{9}{8}, \quad \text{কিংবা } \frac{273+t}{288}=\left(\frac{9}{8}\right)^2=\frac{81}{64}$$

$$\therefore t=81\text{'}5° \text{ সে.।}$$

(j) একটি পিতল-নির্মিত বদ্ধ নলে 18° সে. তাপমাত্রায় 300 কম্পাংকের মূল সুর বাহির হয়। 93° সে, তাপমাত্রায় উহার মূল

সুরের কম্পাংক কত হইবে? পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসরণ গুণাংক $=19\times10^{-6}/°$ সে.

93° সে. তাপমাত্রায় নলের দৈর্ঘ্য $l_2=l_1\{1+\alpha(93-18)\}$

আবার $\dfrac{V_{93}}{V_{18}}=\sqrt{\dfrac{273+93}{273+18}}=\sqrt{\dfrac{366}{291}}$

$300=\dfrac{V_{18}}{4l_1}$, এবং নির্ণেয় কম্পাংক $n=\dfrac{V_{93}}{4l_1\{1+19\times10^{-6}\times75\}}$

$$\therefore\ \frac{n}{300}=\frac{V_{93}}{V_{18}\{1+19\times10^{-6}\times75\}}=\sqrt{\frac{366}{291}}\times\frac{1}{1+\cdot001425}$$

$$\therefore\ n=\frac{300}{1\cdot001425}\sqrt{\frac{366}{291}}$$

$=335\cdot6$/সেকেণ্ড।

(k) একটি সুরশলাকার কম্পন-মান বাহির করিবার পরীক্ষায় একটি পরিবর্তনীয় দৈর্ঘ্যের বদ্ধ নল ও 256/সেকেণ্ড কম্পাংক-বিশিষ্ট একটি সুরশলাকা ব্যবহৃত হইয়াছিল।

256/সেকেণ্ড কম্পাংকের সুরশলাকায় নলের প্রথম ও দ্বিতীয় অনুনাদী দৈর্ঘ্য হইল যথাক্রমে 31·8 ও 98·2 সেমি., এবং অজ্ঞাত কম্পাংকের সুরশলাকার বেলায় দৈর্ঘ্য হইল যথাক্রমে 25·2 ও 78·32 সেমি.। প্রদত্ত সুরশলাকার কম্পন-মান কত? বাতাসে শব্দের বেগই বা কত?

জানা সুরশলাকার বেলায়, $v=2n(l_2-l_1)$ সংকেতে

$n=256$, $l_2=98\cdot2$ সেমি, ও $l_1=21\cdot8$ সেমি. প্রয়োগ করিয়া,

$$V=2\times256(98\cdot2-31\cdot8)$$
$$=2\times256\times66\cdot4=33996\cdot8$$

সেমি./সেকেণ্ড

অজানা সুরশলাকার বেলায়, $V=2n'(l_2'-l_1')$ সংকেতের সাহায্যে,

$$33996\cdot8=2n'(78\cdot32-25\cdot2)$$
$$=2n'\times53\cdot12$$

$\therefore\ n'=320$/সেকেণ্ড।

(l) বাতাসের ঘনত্ব 0·001293 গ্রাম/সিসি. এবং হাইড্রোজেনের ঘনত্ব 0·00009 গ্রাম/সিসি.। কোন দৈর্ঘ্যের বায়ুস্তম্ভে সেকেণ্ডে 320টি কম্পন

উদ্দীপ্ত করা গেলে ঐ নলে হাইড্রোজেন ভরিলে নির্গত সুরের কম্পাংক কত হইবে? বাতাসে শব্দের বেগ 330 মিটার/সেকেণ্ড হইলে হাইড্রোজেনে কত?

বাতাসের ঘনত্ব $\rho = 0{\cdot}001293$ গ্রাম/সিসি. ;

হাইড্রোজেনের ঘনত্ব $\rho' = 0{\cdot}00009$ গ্রাম/সেমি ;

বাতাসের কম্পাংক $n = 320$/সেকেণ্ড, হাইড্রোজেনের কম্পাংক $n' = ?$

বাতাসে শব্দের বেগ $V = 330$ মিটার/সেকেণ্ড ;

হাইড্রোজেনে শব্দের বেগ $V' = ?$

যেহেতু নলের দৈর্ঘ্য স্থির, অতএব নির্গত সুরের তরংগ-দৈর্ঘ্য λ উভয় ক্ষেত্রে সমান।

$$\therefore \quad V' = n'\lambda$$

$$V = n\lambda \,;$$

আবার $$\frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{\rho}{\rho'}} \,।$$

$$\therefore \quad \frac{n'}{n} = \sqrt{\frac{\rho}{\rho'}} \,,$$

অথবা $$n' = n\sqrt{\frac{\rho}{\rho'}} \,।$$

$$= 320\sqrt{{\cdot}001293/{\cdot}00009} = 1212{\cdot}8/\text{সেকেণ্ড}$$

আবার, $$V' = V\sqrt{\frac{\rho}{\rho'}} = 330\sqrt{{\cdot}001293/{\cdot}00009} = 1250{\cdot}7$$

মিটার/সেকেণ্ড।

(m) 4 ফুট দৈর্ঘ্যের একটি বদ্ধ নলে কোন গ্যাস ভরিলে উহা কোন সুরশলাকার সহিত অনুনাদ করে। বাতাস-ভরা 5 ফুট দীর্ঘ একটী খোলা নলও ঐ সুরশলাকার সহিত অনুনাদী। ঐ গ্যাসে শব্দের বেগ নির্ণয় কর। বাতাসে শব্দের বেগ = 1120 ফুট/সেকেণ্ড।

(C. U. 1946)

মনে কর সুরশলাকার কম্পন-মান $= n$,

বদ্ধ গ্যাস-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য $l_1 = 4$ ফুট,

খোলা বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $l_2 = 5$ ফুট।

$\therefore$ বদ্ধ গ্যাস-স্তম্ভের বেলায় তরংগ-দৈর্ঘ্য $\lambda_1 = 4l_1 = 4\times4 = 16$ ফুট,

খোলা বায়ুস্তম্ভের বেলায় তরংগ-দৈর্ঘ্য $\lambda_2 = 2l_2 = 6\times5 = 10$ ফুট।

$\therefore$ গ্যাসে শব্দের বেগ $V_1 = n\lambda_1 = 16n$।

বাতাসে শব্দের বেগ $V_2 = n\lambda_2 = 10n$।

$$\therefore \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{16n}{10n} = \frac{8}{5}$$

$$\therefore \quad V_1 = \frac{8}{5}\ V_2 \times \frac{8}{5} = 1120 = 1792 \text{ ফুট/সেকেণ্ড।}$$

(n) একটি স্বরশলাকার কম্পনমান 600/সেকেণ্ড। শব্দের বেগ 1120 ফুট/সেকেণ্ড হইলে কোন্ দৈর্ঘ্যের বদ্ধ নলের মূল কম্পনমানের সহিত স্বরশলাকার কম্পনমানের 40/সেকেণ্ড পার্থক্য থাকিবে ?

এই প্রশ্নে, বদ্ধ নলের কম্পনমান 600+40 = 640/সেকেণ্ড বা 600-40 = 560/সেকেণ্ড হইতে পারে। অতএব নলের দুই প্রকারের দৈর্ঘ্য সম্ভব।

নলের কম্পনমান $n_1 = 640$/সে. হইলে,

$$\text{দৈর্ঘ্য } l_1 = \frac{1120}{4\times640} = \frac{7}{16} \text{ ফুট।}$$

নলের কম্পনমান $n_2 = 560$/সে. হইলে,

$$\text{দৈর্ঘ্য } l_2 = \frac{1120}{4\times560} = \frac{1}{2} \text{ ফুট।}$$

প্রশ্নমালা

1. একটি অর্গান নলে কিভাবে স্বর নির্গত হয় বর্ণনা কর।

একটি বদ্ধ অর্গান নলে বায়ুস্তম্ভের বিভিন্ন প্রকৃতির কম্পনের বিবরণ দাও।

Describe how an organ pipe emits sound.

Discuss the various modes of vibration of the air column in a closed organ pipe.

2. স্থির তরংগ কাহাকে বলে ? তাহাদের উৎপত্তি কিভাবে হয় ? একটি বদ্ধ নলে তাহাদের উৎপত্তি বুঝাইয়া দাও।

নলের (a) দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিলে (b) অন্য গ্যাস ভরিলে সুরের উপরে ফল কি হইবে বুঝাইয়া দাও।

What are Stationary waves? How are they formed? Describe their mode of formation in a closed organ pipe. (C.U. 1957)

Explain what will be the effect on the tone if (a) the length of the pipe and (b) the gas inside the pipe be changed. (C.U. 1957)

3. একটি খোলা নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পনের প্রণালী বর্ণনা কর।

Discuss the modes of vibration of the air column in an open organ pipe. (cf. C.U. 1926, '31,'32,'47,'50 ;) Pat. 1928 ; U.P.B. 1943)

4. একটী খোলা অর্গান নলের বিস্তৃত বর্ণনা দাও ও উহার চিত্র দাও। ইহার উদ্দীপনের প্রকৃতি বর্ণনা কর।

(a) নলের খোলা মুখ যদি বন্ধ করা হয়, (b) নলটীর দৈর্ঘ্য যদি বাড়ানো হয়, (c) নলের ভিতরের বাতাসের তাপমাত্রা যদি বাড়ানো হয় এবং (d) নলের ভিতরে যদি অন্য গ্যাস ভরা হয়, তবে ফল কি হইবে?

Describe, in details with a diagram, an open organ pipe and explain its mode of xcitation (C.U. 1926 ; cf. C.U. 1931, '32,'47,'50 ; Pat. 1921)

What will be the eflect if (a) the open end of pipe is closed, (b) the length of the pipe is increased, (c) the temperature of the air inside is increased, (d) the air inside the pipe is replaced by some other gas? (C.U. 1926, '50 ; Pat 1928)

5. (a) খোলা ও (b) বদ্ধ নলে বাতাসের কম্পনের প্রকৃতি বর্ণনা কর।

Discuss the modes of vibration of air in (a) open and (b) closed organ pipes (C.U. 1931, '32,'47 ; Del. U. 1942 ; Al. U. 1918)

6. একই দৈর্ঘ্যের দুইটী আর্গান নল আছে, তাহাদের একটীর দুই মুখ খোলা ও অপরটীর এক মুখ বন্ধ। তাহাদের মূল সুরের কম্পাংকের সম্পর্ক কি হইবে বাহির কর।

Two organ pipes of same length are given, one open and the other closed. Explain how their fundamentals are related to each other. (C.U. 24, '26,'45; Pat. 1921, 39; U.P.B 1928)

7. যে কোন ধরণের অর্গান নলের বর্ণনা দাও ও উহার কার্যনীতি বুঝাইয়া দাও।

Describe any form of organ pipe and explain how it works. (H.S. Tech. 1961)

8. পরীক্ষাগারে বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয়ের কোন পদ্ধতি বর্ণনা কর।

Describe a laboratory method of determining the velocity of sound in air. (H.S. Tech. 1960; C.U. 1929, '31,'45,'47,'51,; Pat. 1948, 49; Dee. 1952)

9. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে একটী সুরশলাকার কম্পাংক কি ভাবে নির্ণয় করা যায়?

How can the frequency of a tuning fork be determined with the help of a resonant air column? (H.S. 1961; C.U. 1928, '47', 15; cf. C.U. 1955)

10. সংজ্ঞা লিখ: —

মূল সুর, উপসুর, উধ্বতান।

30 সেমি. দৈর্ঘ্যের একটী বদ্ধ নলের দ্বিতীয় উধ্বর্তান কত দৈর্ঘ্যের খোলা নলের প্রথম উধ্বর্তানের সহিত একই কম্পাংক বিশিষ্ট হইবে?

[24 সেমি.]

Define :

Fundamental, Overtone, Harmonic. (H.S. 1961)

The second harmonic of a 30 cm. long closed pipe

resonates with the first harmonic of an open organ pipe. Find the length of the open pipe.

11. অর্গান নলের বাতাস বদলাইয়া কার্বন ডাই-অক্সাইড ভরিলে সুরের কি প্রকারের পরিবর্তন হয়?

বাতাসের ঘনত্ব 0·001293 এবং কোন গ্যাসের ঘনত্ব 0·00121 গ্রাম/সিসি। বাতাসে শব্দের বেগ 330 মিটার/সেকেণ্ড হইলে ঐ গ্যাসে শব্দের বেগ কত? একটী 45 সেমি. দৈর্ঘ্যের বদ্ধ নলে ওই গ্যাস ভরা থাকিলে উহার মূল সুরের কম্পাংক কত হইবে? [331·1 মি./সে.; 184·/সে.]

12. একটী উদ্দীপ্ত অর্গান নলে সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান কিভাবে নির্ণয় করা যায়?

How can the existence of nodes and antinodes be demonstrated in an organ pipe. (C.U. 1937, '50 ; G.U. 1949)

13. একটী বদ্ধ নলের দৈর্ঘ্য 30 সেমি.। শব্দের বেগ 345 মি./সেকেণ্ড হইলে উহা হইতে কত কম্পাংকের সুর নির্গত হইবে? (প্রান্তিক শুদ্ধি উপেক্ষা কর)। [287·5/সেকেণ্ড ; ইহা ছাড়া ঐ কম্পাংকের অযুগ্ম গুণিতক কম্পাংক।]

A closed pipe is 30 cm. long. Find the frequency of the tone emitted by the pipe when velocity of sound is 345 m./sec. Neglect end correction,

14. একটী বদ্ধ নলের দৈর্ঘ্য 28 সেমি. ও ব্যাস 3·2 সেমি.। শব্দের বেগ 340 মি./সেকেণ্ড হইলে উহার মূল সুরের কম্পাংক কত?

[293·5/সেকেণ্ড প্রায়।]

A closed tube is 28 cm. long and of 3·2 cm. in diameter. Find the frequency of the fundamental tone emitted by it, given velocity of sound in air = 340 m/sec.

15. একটী বদ্ধ নলের দৈর্ঘ্য 32·5 সেমি.। উহা যে সুর উৎপন্ন করে তাহার কম্পাংক 256/সেকেণ্ড। নলের ব্যাস বাহির কর। (বাতাসে শব্দের বেগ = 342 মি./সেকেণ্ড)।

[3 সেমি. প্রায়]।

A closed pipe has a length of 32·5 cm. and it emits a tone of 256 cycles/sec. Find the diameter of the pipe, given velocity of sound in air = 342 m./sec.

16. একটী খোলা নলের দৈর্ঘ্য $1\frac{1}{2}$ ফুট। কত দৈর্ঘ্যের বদ্ধ নল ইহার সমান কম্পাংকের মূল সুর উৎপন্ন করিবে? কম্পাংকটী বাহির কর। বাতাসে শব্দের বেগ = 1024 ফুট/সেকেণ্ড।

[$\frac{3}{4}$ ফুট ; 341·3 কম্পন/সেকেণ্ড]।

An open organ pipe is 12 ft. long. Find the length of the closed organ pipe which will emit the same fundamental as it. Find the frequency of the fundamental. Given velocity of sound in air = 1024 ft/.sec.

17. দুইটি 4 ফুট দৈর্ঘ্যের অর্গান নল,—উহাদের একটি খোলা ও অন্যটি বদ্ধ,—একদিন বাজানো হইল। সেদিন শব্দের বাতাসে বেগ ছিল 1120 ফুট/সেকেণ্ড। উভয় নলের মূল সুরের কম্পাংক নির্ণয় কর। [বদ্ধ নলের ক্ষেত্রে 70/সেকেণ্ড ; খোলা নলের ক্ষেত্রে140/সেকেণ্ড]।

Two four-feet organpipes, one closed at one end and the other open at both ends, are sounded on a day when the velocity of souond in air is 1120 ft/sec. Calculate the frequency of the fundamental note in each case.

(Patna 1950)

18. দুইটি অর্গান পাইপ,—উহাদের একটি খোলা ও অপরটি বদ্ধ,—যে মূল সুর দেয় তাহাদের কম্পমানের পার্থক্য 25 কম্পন/সেকেণ্ড। খোলা নলের দৈর্ঘ্য 96 সেমি. ও বাতাসে শব্দের বেগ 33000 সেমি./সেকেণ্ড হইলে বদ্ধ নলের দৈর্ঘ্য কত? [56·2 সেমি., অথবা 41·9 সেমি.-প্রথম ক্ষেত্রে বদ্ধ নলের কম্পমান খোলা নলের কম ধরা হইয়াছে, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বেশী ধরা হইয়াছে]।

Two organ pipes, one closed at one end and the other open at both ends, emit fundamental notes whose frequencies differ by 25 vibrations per second. The length of the open pipe is 96 cms.; calculate the length of the closed pipe, given the velocity of sound in air = 33000 cm/sec.

(U. P. B. 1945)

19. একটি গভীর জারের মুখে একটি কম্পমান সুরশলাকা ধরা হইল। এখন জারের মধ্যে জল ঢালিলে কি হইবে?

একটি গভীর জলের পাত্রের মধ্যে একটি দীঘ দুই মুখ খোলা পিতলের নল এক মুখ ডোবানো অবস্থায় রাখা হইয়াছে। নলটিকে প্রয়োজনমত উঠা-নামা করা যায়। নলটির 22·2 সেমি. যখন জলের উপরে তখন উহার মুখে একটি 380/সেকেণ্ড কম্পাংকের সুরশলাকা ধরিলে নলটি হইতে সুর বাহির হয়। নলটিকে আরও উঠাইলে অন্য এক দৈর্ঘ্যে নলটি আবার সুর নিঃসৃত করিল। এই দৈর্ঘ্য কত? নলের ব্যাস 2 সেমি.।

এই পরীক্ষা হইতে বাতাসের বেগ বাহির করা সম্ভব কি? যদি সম্ভব হয় তবে কিরূপ ফল হইবে?

[67·8 সেমি.; হাঁ; 346·56 মি./সে.]।

A vibrating tuning fork is placed at the mouth of at open jar. What will happen when water is poured gradually into it? (G. U. 1949)

A brass tube open at both ends rests inside a deep vessel containing water so that its lower end is under water. The height of the tube can be adjusted. When 22·2 cm. length of the tube is above water then, on holding a vibrating tuning fork of frequency 380/sec, at the mouth, the tube speaks. When the tube is raised further, it is found that there is another length at which the tube again speaks. Find this length, The diameter of the tube is 2 cm.

Can this experiment be used to determine the velocity of sound? If so, find it value,

20. দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করা যায় এমন একটি বদ্ধ নল 31·9 সেমি. দৈর্ঘ্যে 256/সেকেণ্ড কম্পন-হারের সুরশলাকার সহিত অনুনাদী হয়। নলটির ব্যাস 5 সেমি. এবং বাতাসের তাপমাত্রা 14·4° সে,। 0° সে. তাপমাত্রায় বাতাসে শব্দের বেগ বাহির কর। [333·23 মি./সে.]।

A closed tube of adjustible length resonates with a tuning fork of 256/sec. frequency when its length is 31·9 cm. The diameter of the tube is 5 cm. and the temperature of air is 14·4°C. Find velocity of sound in air at 0°C.

21. 0°সে, তাপমাত্রায় বাতাসে শব্দের বেগ 332 মি./সেকেণ্ড। একটি দুইমুখ খোলা নলের ন্যূনতম 75 সেমি. দৈর্ঘ্য 252 কম্পাংকের সুরশলাকার সহিত অনুনাদ হয়। নলের তাপমাত্রা কত? [75·7° সে.]

The velocity of sound in air is 332 m./sec. The shortest length of a tube open at both ends which can resonate with a tuning fork of 252 c/s is 75 cm. Find the temperature of the tube.

22. একটি সুরশলাকা একটি খোলা নলের প্রথম উর্ধ্বতানের সহিত অনুনাদ করে। নলটির দৈর্ঘ্য 65 সেমি. হইলে ও বাতাসে শব্দের বেগ 332·8 মি./সেকেণ্ড হইলে সুরশলাকার কম্পাংক কত?

[512 কম্পন/সেকেণ্ড]।

A tuuing fork resonants with the first harmonic of an open pipe. If the length of the pipe is 65 cm. and velocity of sound in air be 332·8 m/sec., find the frequency of the tuning fork.

23. একটি 512 কম্পন-মানের সুরশলাকাকে একটি জলে পূর্ণ কাচ-নলের মুখে ধরা হইল। কাচ-নলের নীচের কল খুলিয়া জল বাহির করা হইতে থাকিলে বায়ুস্তম্ভের 16 সেমি. ও 50 সেমি. দৈর্ঘ্যে প্রথম ও দ্বিতীয় অনুনাদ হয়। বাতাসে শব্দের বেগ কত?

একটি সুরশলাকা এই কাচ-নলের মুখে ধরিলে 15 ও 47 সেমি. দৈর্ঘ্যে অনুনাদ হয়। এই সুরশলাকার কম্পন-মান কত?

[348·16 মি./সে.; 544 কম্পন/সে.]

A vibrating tunig forkof frequency 512 per sec. is held at the open end of a glass tube filled with water. The level of water is lowerd by opening a tap at the bottom of the tube. First and second resonances occur when the lengths of air column are 16 cm. and 50 cm. respectively. What is the velocity of sound in air?

Find the frequency of a tuning fork which, when held at the mouth of the tube, produces resonance at 15 cm. and 7 4cm. respectively.

সপ্তম পরিচ্ছেদ

তারের কম্পন

(Vibration of Strings)

7.1. তারের যন্ত্র (Stringed Instruments) :

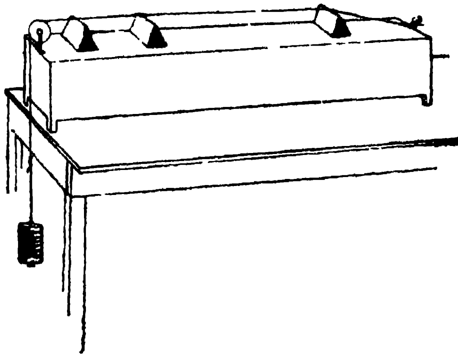
তোমরা যাহারা উচ্চাংগ সংগীতের আসরে গিয়াছ, তাহারা নিশ্চয়ই তারের সংগীত-যন্ত্রের ব্যবহার দেখিয়াছ। যাহারা উচ্চাংগ সংগীতের আসরে যাও নাই, তাহারাও গ্রামের বৈরাগীর একতারার বাদন শুনিয়াছ। প্রাচ্য ও পাশ্চাত্য, উভয় শ্রেণীর সংগীতেই তারের যন্ত্র অতি উচ্চস্থান অধিকার করে। প্রাচ্যে ওস্তাদের সেতার, বীণা, তানপুরা, এস্‌রাজ, বেহালা হইতে আরম্ভ করিয়া বৈরাগীর একতারা, আর পাশ্চাত্যে ভায়োলিন, গীটার, ম্যাণ্ডোলীন, পিয়ানো হইতে আরম্ভ করিয়া ব্যাঞ্জো পর্যন্ত, কত রকমের যে তারের যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাহার পুরাপুরি তালিকা দেওয়া মুস্কিল। সমস্ত যন্ত্রেরই কিন্তু রীতি এক, টান করা তারে কোনভাবে আঘাত করিয়া কম্পন সৃষ্টি করা হয় এবং সেই কম্পনের ফলে সুর-সৃষ্টি হয়।

সংগীত-যন্ত্রের খোলটি বিশেষ প্রয়োজনী উপাদান। শুধু তারে যে কম্পন সৃষ্টি হয়, তাহা এত সামান্য পরিমাণ বাতাসকে কাঁপায় যে সে শব্দ কানে শোনা যায় না। কিন্তু তারটি একটি ফাঁপাকাঠের খোলে আটকানো থাকায় তারের সংগে খোলটির পরবশ কম্পন (Forced Vibration) হয়, ফলে খোলের সংস্পর্শে অবস্থিত চারিদিকের অনেকখানি বাতাস একসংগে কাঁপিতে থাকে ও সুরটি জোরালো হয়।

তারের যন্ত্রের এত প্রচুর ব্যবহারের জন্য শব্দ-তত্ত্বে তারের স্পন্দনের আলোচনা একটি বিশেষ প্রয়োজনীয় স্থান দখল করিয়াছে।

7.2. সনোমিটার (Sonometer) :—ওস্তাদের বাদ্যযন্ত্রে সুরকে মিষ্ট করিবার জন্য নানা প্রকার গঠন কারুকার্য করিতে হয়। কিন্তু তারের কম্পন যখন আলোচনা করিতে হইবে, তখন সে-জন্য শব্দ-তত্ত্বে যে যন্ত্র ব্যবহার করা হইবে তাহা যতদূর সম্ভব সরল হওয়া উচিত। তাহাছাড়াও, ওস্তাদ তাঁহার যন্ত্রে মিষ্ট ও নির্দিষ্ট সুর বাহির করিতেই ব্যস্ত; তাঁহার তারের

দৈর্ঘ্য, ভর, বা টানের সঠিক পরিমাণ কত তাহা তাঁহার মনে রাখিবার প্রয়োজন নাই। কিন্তু শব্দ-বিজ্ঞানীকে এ-সমস্তই ঠিক হিসাব রাখিতে হইবে। সে-জন্য শব্দ-তত্ত্বে তারের কম্পন আলোচনা করিবার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাহা খুব সরল ধরণের। এই যন্ত্রকে বলে সনোমিটার।

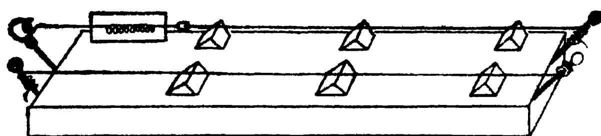


7·1 সনোমিটার

সনোমিটার যন্ত্রে একটি আয়তাকার ফাঁপা কাঠের বাক্সের উপরে একটি সমপ্রস্থচ্ছেদের তার লম্বালম্বিভাবে আটকাইয়া রাখা হয়। তারটির একপ্রান্ত বাক্সের এক মাথায় একটি স্ক্রু বা আঁকসিতে আটকানো থাকে, অন্য প্রান্ত বাক্সের অন্যমাথায় একটি মসৃণ পুলির উপর দিয়া লইয়া গিয়া ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। এই প্রান্তে কতকগুলি ওজন ঝুলাইয়া তারটিকে টান করা যায়। ওজনের ভার হইতে তারে কতটা টান দেওয়া হইল মাপা যায়। বাক্সের উপরে তারের নীচে কতকগুলি প্রিজ্মের আকারের ঘাট (bridge) বা ক্ষুরধার (knife-edge) থাকে, এই ঘাটগুলির মধ্যে যেগুলি বাক্সের দুই প্রান্তে থাকে তাহারা বাক্সের গায়ে আটকানো ও স্থির থাকে। মধ্যস্থলে যে ঘাটগুলি থাকে, তাহাদের সরানো যায়। তারটি এই ঘাটগুলির উপর বসিয়া থাকে। এই ঘাটগুলি সরাইয়া তারটির দৈর্ঘ্যের প্রয়োজনমত অংশ বাছিয়া লইয়া তাহাকে কম্পন করানো যায়।

অনেক সময়ে এই তারের পাশে বাক্সের উপরে আরও একটি বা একাধিক তার আটকানো থাকে, এই তারকে বলে সহায়ক (auxilliary wire)। এই তারের এক প্রান্ত একটি স্ক্রু বা আংটায় আটকানো হয়, অপর প্রান্তে কোন ওজন না ঝুলাইয়া উহাকে একটি কাঠের প্যাঁচ-বিশিষ্ট গোঁজে

আটকানো হয়। এই গোঁজে পাক দিয়া (ঠিক সেতারের বা তানপুরার মত) এই সহায়ক তারের টান বাড়ানো কমানো যায়, তবে এই টান মাপা যায় না।

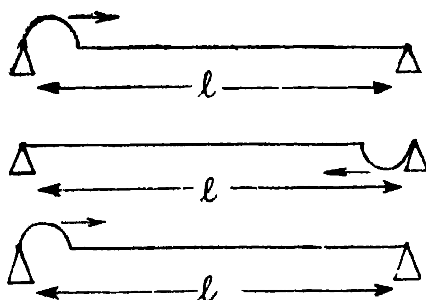


7·2 ডায়নামোমিটার জাতীয় সনোমিটার

অনেক সনোমিটারে তারের মুক্ত প্রান্তে ওজন না ঝুলাইয়া একটি স্প্রিং তুলার সাহায্যে টান দেওয়া হয়। এইরূপ সনোমিটারকে ডায়নামোমিটার জাতীয় সনোমিটার বলে।

7.3. তারে তির্যক তরংগের সৃষ্টি (Production of Transverse waves in a String):

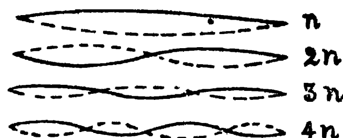
মনে কর একটি তার দুই প্রান্তে টানা দিয়া বাঁধা আছে। (সনোমিটারের ওজন ঝুলানো তারের যে অংশ দুটি ঘাটের মধ্যে পড়িয়াছে তাহার এই অবস্থা হয়)। এখন তারের মাঝামাঝি কোন অংশকে আঙুল দিয়া উহার দৈর্ঘ্যের সহিত লম্বভাবে টানিয়া তারকে ছাড়িয়া দিলে ঐ অংশটি পুনরায় নিজের স্বাভাবিক অবস্থানে ফিরিতে চায়। কিন্তু উহা যখন উহার স্বাভাবিক অবস্থানে ফেরে, তাহার মধ্যে উহার কিছুটা গতি-সঞ্চার হইয়াছে, ফলে উহা



7·3

স্বাভাবিক অবস্থা পার হইয়া বিপরীত দিকে চলিয়া যায়। এইভাবে উহার তির্যক কম্পন হইতে থাকে। ইহার ফলে তারে তির্যক তরংগের সৃষ্টি হয়।

এই তির্যক তরংগ তীব্র বেগে ঐ অংশ হইতে তারের দৈর্ঘ্য বাহিয়া দুইদিকে চলিতে থাকে, এবং দুই বাঁধা প্রান্তে বা ঘাটে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া



7·4

আসে। কিন্তু ঐ অংশের কম্পনের জন্য পরপর যে তির্যক তরংগের সৃষ্টি হয়, তাহাদের মধ্যে অগ্রসরমান তরংগের সহিত প্রতিফলিত তরংগের মিলনে তারে স্থির তির্যক তরংগের সৃষ্টি হয়।

তারটি তখন একটি বা কয়েকটি অংশে বিভক্ত হইয়া কাঁপিতে থাকে। স্থির তরংগে সমদূরবর্তী কয়েকটি সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দু থাকে। স্বভাবতঃই তারেও এইরূপ কয়েকটি বিন্দু থাকিবে। তারের দুই প্রান্তে বা যেখানে তাব বাঁধা আছে, সেখানে তারের কণাগুলির স্পন্দন সম্ভব নয় বলিয়া সেই দুই স্থানে নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থিতি হয়। ইহাদের মধ্যে আরও কতকগুলি সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হইতে পারে।

তাবে সর্বাপেক্ষা সরল কম্পনের বেলায় তারের দুই প্রান্তে দুইটি নিস্পন্দ বিন্দু ও মধ্যস্থানে একটি সুস্পন্দ বিন্দু থাকিবে। এই অবস্থায় তারে যে তরংগের সৃষ্টি হয় তারটির দৈর্ঘ্য তাহার দুইটি তরংগাংশ (Segment) জুড়িয়া থাকায় তারের দৈর্ঘ্য সেই তরংগের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হইবে। তখন তার যে হারে কম্পন করে, তাহা তারের মূল সুর দেয়। (চিত্র নং 7·4, উপর হইতে প্রথম চিত্র)।

ইহা ছাড়া তারের দুই প্রান্তে নিস্পন্দ বিন্দু রহিয়াও, মধ্যে আর একটি নিস্পন্দ বিন্দু, এবং দুই প্রান্ত হইতে দৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ $\left(\frac{l}{4}\right)$ দূরত্বে দুইটি সুস্পন্দ বিন্দু থাকিতে পারে। (চিত্র নং 7·4, উপর হইতে দ্বিতীয় চিত্র)। এই অবস্থায় যে তরংগের সৃষ্টি হয় তাহার দৈর্ঘ্য তারের দৈর্ঘ্যের সমান, কারণ তরংগের চারিটি অংশই তারে রহিয়াছে। স্বভাবতঃই তারের

মূল সুরের কম্পনে যে তরংগের উৎপত্তি হয়, এখনকার তরংগের দৈর্ঘ্য সেই তরংগের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক, অতএব এই অবস্থায় তারের কম্পাংক মূল সুরের কম্পাংকের দ্বিগুণ, অর্থাৎ এই সুর মূল সুরের প্রথম উর্ধ্বতান।

একই যুক্তিতে বুঝা যায় যে তারটির এমনভাবে কম্পন হইতে পারে যে উহা হইতে মূল সুরের তিনগুণ বা চারগুণ ইত্যাদি কম্পাংকের সুর নির্গত হইতে পারে।

তির্যক কম্পনের পারবর্তে অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের সৃষ্টি করিয়াও তারে বিভিন্ন কম্পাংকের সৃষ্টি করা যায়। এখানেও তারের দুই প্রান্তে নিস্পন্দ বিন্দু সৃষ্টি হয়। অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের ফলে তারে যে সুরের সৃষ্টি হয় তাহার কম্পাংক বেশী হয়।

7.4 তারে তির্যক তরংগের বেগ (Velocity of Transverse Waves in Strings): তারের মধ্যে তির্যক তরংগের বেগ কথাটি আপাত-দৃষ্টিতে একটু অদ্ভুত মনে হইতে পারে, কারণ আমরা দেখিয়াছি যে তারে স্থির তরংগের সৃষ্টি হইয়াছে ও উহার বেগ শূন্য। কিন্তু এই স্থির-তরংগ প্রকৃতপক্ষে দুইটি বিপরীতগামী অগ্রসরমান তরংগের মিলনের ফল। এখানে আমরা তরংগের বেগ বলিতে অগ্রসরমান তরংগের বেগই বুঝিব।

যদি তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভরকে m গ্রাম (এই রাশিকে রেখ ঘনত্ব বা line density বলে), এবং যে বল দিয়া তারকে টানিয়া রাখা হইয়াছে, তাহার মান $= T$ ডাইন ধরা হয়,

তাহা হইলে প্রমাণ করা যায় যে, তারে তির্যক তরংগের বেগ $v = \sqrt{\frac{T}{m}}$

(i) (ইহার প্রমাণ পাঠ্য সূচীর বহির্ভূত বলিয়া এখানে দেওয়া হইল না)।

তাহা হইলে লক্ষ্য কর যে তারে তির্যক তরংগের বেগ স্থির নয়, উহা T ও m-এর উপর নির্ভরশীল। একই তারে টান বাড়াইলে তরংগের বেগ বৃদ্ধি পাইবে। আবার টান স্থির রাখিয়া একই পদার্থের সরু ও মোটা তারে বেগ বেশী ও কম হইবে।

প্রসংগতঃ উল্লেখ করা যাইতে পারে যে তারে অনুদৈর্ঘ্য তরংগের বেগ নিউটনের সূত্র অনুসারে পাওয়া যায়, অর্থাৎ অনুদৈর্ঘ্য তরংগের বেগ u হইলে,

$$c=\sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$, যেখানে y = তারের ইয়ংগুণাংক

এবং ρ = তারের ঘনত্ব।

অনুদৈর্ঘ্য তরংগের বেগ স্থির, ইহা তারের টানের উপর নির্ভর করে না বা তারটি সরু না মোটা, উহার একক দৈর্ঘ্যের ভর কম বা বেশী, তাহার উপর নির্ভর করে না।

7.5. তারে তির্যক কম্পনের কম্পন-মান (Frequency of Transverse Vibration in strings) : তারটি যখন মূল সুরে কম্পন করে, মনে কর তখন উহার কম্পাংক n। এখন উহাতে সৃষ্ট তরংগের দৈর্ঘ্য λ এবং তরংগ-বেগ হইলে,

$$l=\frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \lambda=2l\text{।}$$

আবার,

$$v=n\lambda,$$

$$\therefore n=\frac{v}{\lambda}=\frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{m}}$$ [কারণ 7.4 (i) নং সংকেত হইতে $v=\sqrt{\frac{T}{m}}$]।

$$=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}\text{।} \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(ii)}$$

l-কে সেমি., T-কে ডাইন ও m-কে গ্রাম/সেমি. মাপা হয়। আবার, তারের ব্যাসার্ধ r সেমি, হইলে,

উহার প্রস্থচ্ছেদ $=\pi r^2$,

এবং একক দৈর্ঘ্যের ভর $m=\pi r^2\rho$, ;

$\therefore$ (ii) নং সংকেত হইতে, $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\pi r^2\rho}}=\frac{1}{2lr}\cdot\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}}$ ....(iii)

$$=\frac{1}{ld}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}} \cdots (\,d=\text{ব্যাস}\,)\ldots\ldots\text{(iv)}$$

তবে, তারের কম্পাংক বাহির করিবার জন্য (ii) নং সংকেতটিই বেশী ব্যবহৃত হয়।

তারটি যখন প্রথম ঊর্ধ্বতান উৎপন্ন করে, তখন উহার কম্পাংক

$$2n = 2.\ \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}} \quad \text{............(v)}$$ ।

[আর অনুদৈর্ঘ্য তরংগে মূল সুরের কম্পাংক $n' = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{y}{\rho}}$]।

7.6. তারের তির্যক কম্পংনের সূত্রাবলী (Laws of Transverse Vibration of Strings):

কোন টানা তার যখন তির্যক কম্পন করে, তখন উহার মূল সুরের কম্পাংককে নিম্নলিখিত তিনটি সূত্রের দ্বারা বর্ণনা করা যায়—

(a) দৈর্ঘ্যের সূত্র (Law of length): নির্দিষ্ট তারের উপরে টান স্থির রাখিলে (তার নির্দিষ্ট হওয়ায় উহার একক দৈর্ঘ্যের ভর স্থির থাকে) উহার কম্পনের হার উহার দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক।

অর্থাৎ, তারের দৈর্ঘ্য l, একক দৈর্ঘ্যের ভর m এবং উহার উপরে টান যদি T হয়, তবে T ও m স্থির রাখিলে

$$n \propto \frac{1}{l}$$

উদাহরণ হিসাবে বলা যায়, তারটির টান না বদলাইয়া দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করিলে কম্পাংক অর্ধেক হইয়া যায় দৈর্ঘ্য তিনগুণ করিলে কম্পন-হার হয় এক-তৃতীয়াংশ।

(b) টানের সূত্র (Law of tension): নির্দিষ্ট তারের (অর্থাৎ তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর স্থির) দৈর্ঘ্য স্থির রাখিলে উহার কম্পাংক উহার উপরে টানের বর্গমূলের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ l ও m স্থির রাখিলে, $n \propto \sqrt{T}$।

উদাহরণ স্বরূপে, টান চারগুণ করিলে কম্পাংক দ্বিগুণ হইবে।

(c) ভরের সূত্র (Law of mass): তারের দৈর্ঘ্য ও উহার উপরে টান স্থির রাখিলে তারের কম্পাংক উহার একক দৈর্ঘ্যের ভরের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক।

অর্থাৎ T ও l স্থির রাখিলে, $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$।

একটি তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর যদি আর একটি তারের একক দৈর্ঘ্যের ভারের 4 গুণ হয়, তবে একই দৈর্ঘ্য ও টানের তার লইলে, প্রথমটির কম্পাংক দ্বিতীয়টির অর্ধেক।

আমরা তিনটি সূত্রকে মিলিত করিয়া দেখিতে পারি l, m ও T তিনটি রাশিই পরিবর্তন করিলে n কিভাবে পরিবর্তিত হয়।

$$\text{সেক্ষেত্রে } n \propto \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}},$$

$$\text{কিংবা } n = K.\frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}, \text{ যেখানে } L = \text{ধ্রুবক।}$$

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \text{ সংকেতের সহিত তুলনা করিলে দেখা যায় } K = \frac{1}{2}\text{।}$$

[তারের তির্যক কম্পনের ভরের সূত্র হইতে আমরা আরও দুইটি সূত্র পাই ।]

তারের ব্যাস d হইলে, উহার প্রস্থচ্ছেদ $= \frac{\pi d^2}{4}$ ।

$$\therefore \text{ উহার একক দৈর্ঘ্যের আয়তন} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot 1 = \frac{\pi d^2}{4},$$

$$\text{এবং একক দৈর্ঘ্যের ভর } m = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \rho \text{।}$$

$$\text{অতএব } n \propto \frac{1}{\sqrt{m}} \text{ সূত্র হইতে, } n \propto \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi d^2}{4}\rho}}$$

$$\text{অথবা } n \propto \frac{1}{d\sqrt{\frac{\pi}{4}\rho}} \text{।}$$

অতএব নূতন দুইটি সূত্র হইবে—

(d) **ব্যাসের সূত্র (Law of diameter) :** তারের দৈর্ঘ্য, টান ও ঘনত্ব স্থির থাকিলে উহার কম্পাংক উহার ব্যাসের ব্যস্তানুপাতিক।

অর্থাৎ l, T ও ρ স্থির থাকিলে $n \propto \frac{1}{d}$ ।

এই সূত্রে, একই পদার্থের ও একই প্রকৃতির সরু ও মোটা তারের কম্পাংকের সম্বন্ধ পাওয়া যায়।

(e) **ঘনত্বের সূত্র (Law of density) :** তারের দৈর্ঘ্য, টান, ও ব্যাস স্থির থাকিলে উহার কম্পাংক উহার ঘনত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

অর্থাৎ, l, T ও d স্থির থাকিলে $n \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$ ।

এই সূত্রে দুইটি বিভিন্ন পদার্থের তারের কম্পাংকের সম্বন্ধ প্রকাশ পায়।

দ্রষ্টব্য : টানা তারের তির্যক কম্পনের সূত্র বলিতে প্রথম তিনটি সূত্রের উল্লেখ করাই যথেষ্ট, ব্যাস ও ঘনত্বের সূত্রের উল্লেখ বাধ্যতামূলক নহে।]

7.7. তারের তির্যক কম্পনের সূত্রাবলীর পরীক্ষা (Verification of the laws of transverse vibration of strings) :

পরীক্ষাগারে সনোমিটারের সাহায্যে তারের তির্যক কম্পনের সূত্রগুলি প্রমাণ করিতে হয়।

পরীক্ষার উপাদান (Apparatus) : একটি সনোমিটার, বিভিন্ন ঘনত্বের ও ব্যাসের কয়েকটি তার, বিভিন্ন কম্পাংকের কয়েকটি সুরশলাকা, সনোমিটারের তার হইতে ঝুলানো যায় এমন কতকগুলি কিলোগ্রাম ও আধ কিলোগ্রাম ওজন।

(a) **দৈর্ঘ্যের সূত্র :** দুই-তিনটি পৃথক কম্পন-মানের সুরশলাকা লওয়া হয়। মনে কর তাহাদের কম্পনাংক n_1, n_2···প্রভৃতি। সনোমিটারের তার হইতে 4-5 কিলোগ্রাম ওজন ঝুলাইয়া দেওয়া হয়, তারের নীচে যে ক্ষুরধারটি নড়ানো যায় তাহা সরাইয়া তারের যেদিকে ওজন ঝুলানো হইয়াছে সেই দিককার স্থির ক্ষুরধার বা সেতু হইতে এই ক্ষুরধার পর্যন্ত দৈর্ঘ্যকে প্রায় 25-30 সেমি. করা হয়। এই অবস্থায় তারের এই অংশটুকুকে আঙুল দিয়া বাজাইলে উহার সুর যেন উচ্চতম কম্পাংকের সুরশলাকার সুরের মত হয়। দরকার হইলে ওজন এক-আধটু কমাইয়া বাড়াইয়া এই দৈর্ঘ্যটি পরীক্ষার প্রথমেই ঠিক করিয়া লইতে হয়। দৈর্ঘ্য কম হইলে পরীক্ষার শুদ্ধির হানি হয়। একবার ওজন নির্দিষ্ট হইলে সেই ওজন সমস্ত পরীক্ষাটির মধ্যে স্থির রাখিতে হয়।

সনোমিটারের তারের এই অংশের মাঝামাঝি একটি ছোট কাগজের টুকরা V-এর আকারে ভাঁজ করিয়া উল্টা করিয়া তারের উপরে বসানো হয়। এই টুকরাকে আরোহী (rider) বলে। উচ্চতম কম্পন-মানের (মনে কর n_1) সুরশলাকাটিকে স্পন্দন করাইয়া উহার হাতল সনোমিটারের বাক্সের উপর চাপিয়া ধরা হয়। বাক্সের পরবশ কম্পন হইয়া জোরালো শব্দ

বাহির হইবে। চলমান ক্ষুরধারটি এদিক-ওদিক সরাইয়া এমন এক অবস্থানে আনা হয় যখন কম্পমান সুরশলাকাটি বাক্সের উপরে চাপিয়া ধরিলে কাগজের আরোহীটি খুব জোরে কাঁপিয়া নীচে পড়িয়া যাইবে। ইহার কারণ হইল এই যে তারের বর্তমান দৈর্ঘ্যে উহার কম্পন-মান সুরশলাকার কম্পন-মানের সমান ; ফলে তারের অনুনাদী কম্পন হয়।

স্থির ক্ষুরধার হইতে চলমান ক্ষুরধার পর্যন্ত দৈর্ঘ্য একটি মিটার স্কেলের সাহায্যে মাপিয়া লওয়া হয়।

চলমান ক্ষুরধারকে সরাইয়া দেওয়া হয় ও আবার একই পদ্ধতিতে ঐ সুরশলাকার সহিত তারটির অনুনাদী দৈর্ঘ্য আরও দুইবার বাহির করা হয়। তিনবারের দৈর্ঘ্যের গড় l_1 দৈর্ঘ্য n_1 কম্পনমানের সুরশলাকার অনুনাদী, অতএব ইহার কম্পনমান n_1।

একই উপায় n_2, n_3—কম্পনমানের জন্য তারের দৈর্ঘ্য l_2, l_3—বাহির করা হয়।

হিসাব :

তাহা হইলে দেখা যাইবে, $n_1 l_1 = n_2 l_2 = n_3 l_3 \cdots$

অর্থাৎ $nl =$ ধ্রুবক।

$$\text{অতএব } n \propto \frac{1}{l} \text{ ।}$$

আরোহীর সাহায্যে দৈর্ঘ্য বাহির করিয়া উহাকে আরও সূক্ষ্মভাবে নির্ধারণ করিবার জন্য নীচের পদ্ধতি ব্যবহার করা যায়। কম্পমান সুরশলাকাকে সনোমিটারের বাক্সের উপর চাপিয়া তারের কম্পন চোখে লক্ষ্য করা হয়। ঠিক অনুনাদ হইলে দেখা যায় তারটি ধনুকের ন্যায় হইয়া কাঁপিতেছে। প্রয়োজন হইলে চলমান ক্ষুরধারকে 1-2 মিমি. সরাইয়া এইরূপ করা সম্ভব। এইরূপ অবস্থাসই ঠিক অনুনাদ হয়।

(b) টানের সূত্র :

(তারের কম্পন-মান টানের বর্গমূলের সমানুপাতিক বলিয়া টানের পরিমাণ 1 কিলোগ্রাম বা $\frac{1}{2}$ কিলোগ্রাম হিসাবে বাড়াইলে বা কমাইলে সাধারণতঃ যে সমস্ত কম্পনমান বাহির হয় সেইরূপ কম্পনমানের সুরশলাকা পাওয়া যায় না। সেজন্য এই সূত্রের পরীক্ষায় দৈর্ঘ্যের সূত্রের ন্যায়

স্বরশলাকা ব্যবহার না করিয়া উহার পরিবর্তে আর একটি তারকে শব্দের উৎস হিসাবে ব্যবহার করিতে হয়)।

সনোমিটারের বাক্সের উপরে মূল তারের পাশাপাশি আর একটি তার বেশ টান করিয়া বাঁধিয়া দেওয়া হয়। এই তারকে সহায়ক তার (auxilliary wire) বলে। এই তারের নীচে একটি চলমান ক্ষুরধার বসানো হয়।

মূল তারে 3 4 কিলোগ্রাম ওজন ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। উহার নীচের চলমান ক্ষুরধার সরাইয়া 20-25 সেমি. দৈর্ঘ্যে রাখা হয়। মূল তারের এই দৈর্ঘ্যটি আগাগোড়া স্থির রাখিতে হইবে। আঙুল দিয়া মূল তারকে বাজানো হয় ও সহায়ক তারের নীচের ক্ষুরধার সরাইয়া উহার অনুনাদী দৈর্ঘ্য বাহির করা হয়। এজন্য কাগজের আরোহী ব্যবহার করিতে হয়। সহায়ক তারের অনুনাদী দৈর্ঘ্য মাপিয়া লওয়া হয়। তিনবার পরীক্ষাটি করা হয় ও গড় দৈর্ঘ্য বাহির করা হয়। মনে কর এখন মূল তারে টান T_1 ও সহায়ক তারের দৈর্ঘ্য l_1'।

মূল তারের দৈর্ঘ্য স্থির রাখিয়া আর এক কিলোগ্রাম ওজন বাড়াইয়া উহার টান T_2 করা হয়। স্বভাবতঃই উহার কম্পন-মান বদ্‌লাইয়া যাইবে সহায়ক তারের ক্ষুরধার সরাইয়া উহাকে আবার মূল তারের অনুনাদী করা হয়। এখন সহায়ক তারের অনুনাদী দৈর্ঘ্য মনে কর l_2' হইল।

হিসাব : সহায়ক তারের টান স্থির ছিল, অতএব উহার কম্পনমান উহার দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক।

সহায়ক তারের l_1' দৈর্ঘ্যে উহার কম্পনমান n_1 ধরা যাক্। ইহার মান আমরা বাহির করি নাই। সেইরূপ, l_2' দৈর্ঘ্যে সহায়ক তারের কম্পন-মান n_2। ইহার মানও অজ্ঞাত।

তাহা হইলে সহায়ক তারের ক্ষেত্রে $n_1 l_1' = n_2 l_2'$,

কিংবা $\frac{l_1'}{l'_2} = \frac{n_2}{n_1}$ ।

আবার, মূল তারের দৈর্ঘ্য স্থির ছিল, এবং T_1 টানে উহার কম্পন-মান ছিল n_1, কারণ উহা সহায়ক তারের সহিত অনুনাদী হইয়াছিল। সেইরূপ T_2 টানে উহার কম্পন-মান ছিল n_2।

তাহা হইলে হিসাব করিয়া দেখা যাইবে যে

$$\sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = \frac{l_2}{l_1}$$

কিন্তু $\frac{l_2}{l_1} = \frac{n_1}{n_2}$

অতএব মূল তারের বেলায় $\frac{T_1}{T_2} = \frac{n_1}{n_2}$।

$$\therefore \quad \frac{n_1}{\sqrt{T_1}} = \frac{n_2}{\sqrt{T_2}} \text{।}$$

$$\therefore \quad n \propto \sqrt{T} \text{।}$$

(c) **ভরের সূত্র :** একক দৈর্ঘ্যে বিভিন্ন ভর m_1, m_2···বিশিষ্ট কয়েকটি তার লওয়া হয়। ইহাদের একটিকে মূল তার হিসাবে সনোমিটারে আটকানো হয়। মনে কর তারটির একক দৈর্ঘ্যের ভর m_1। অন্য কোন তার সহায়ক হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

মূল তারটিকে 4·5 কিলোগ্রাম ওজনের সাহায্যে টান করিয়া 20-25 সেমি. দৈর্ঘ্যে চলমান ক্ষুরধারটি রাখা হয়। এই দৈর্ঘ্য ও টান আগাগোড়া স্থির রাখিতে হইবে। সহায়ক তারের ক্ষুরধার সরাইয়া উহাকে মূল তারের অনুনাদী করা হয়। সহায়ক তারের দৈর্ঘ্যটি তিনবার ঠিক করিয়া গড় দৈর্ঘ্য l_1' লওয়া হয়।

মূল তারটিকে বদলাইয়া m_2 একক দৈর্ঘ্যের ভর-বিশিষ্ট তার লাগানো হয়। ইহাতেও পূর্বের মূল তারের সমান টান দেওয়া হয় ও সেইটির সমান দৈর্ঘ্য লওয়া হয়।

সহায়ক তারের যে দৈর্ঘ্য l'_2 এই তারটির সহিত অনুনাদী হয় তাহা বাহির করা হয়।

হিসাব : মনে কর প্রত্যেকটি মূল তারের টান T ও দৈর্ঘ্য l।

সহায়ক তারের টান স্থির থাকায় উহার কম্পন-মান দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক। উহার l'_1 ও l'_2 দৈর্ঘ্যের কম্পন-মান যথাক্রমে n_1 ও n_2 ধরা যাক্। n_1 ও n_2-এর মান অবশ্য আমাদের অজ্ঞাত।

তাহা হইলে,

$$\frac{l_2}{l_1}=\frac{n_1}{n_2}$$

দেখা যাইবে যে মূল তার দুটির বেলায়,

$$\sqrt{\frac{m_2}{m_1}}=\frac{l_2}{l_1}$$

$$\text{অতএব} \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}=\frac{n_1}{n_2},$$

$$\text{কিংবা} \quad n_1\sqrt{m_1}=n_2\sqrt{m_2},$$

$$\text{অথবা } n \propto \frac{1}{\sqrt{m}} \text{ ।}$$

(d) **ব্যাসের সূত্র :** একই পদার্থের (অতএব একই ঘনত্ব-বিশিষ্ট) দুইটি বিভিন্ন ব্যাসের তার লইয়া (c)-এর ন্যায় পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে, d_1 ও d_2 ব্যাসের একই টান দেওয়া মূল তারের স্থির দৈর্ঘ্যের সহিত অনুনাদী সহায়ক তারের দৈর্ঘ্যর যথাক্রমে l_1 ও l_2 হইলে,

$$\frac{d_1}{d_2}=\frac{l_1}{l_2} \text{ ।}$$

সহায়ক তারের l_1 ও l_2 দৈর্ঘ্যের কম্পন-মান যথাক্রমে n_1 ও n_2 হইলে, স্বভাবতঃই

$$\frac{d_1}{d_2}=\frac{n_2}{n_1} \text{ ।}$$

$$\text{অতএব} \quad n_1d_1=n_2d_2$$

$$\text{কিংবা} \quad n \propto \frac{1}{d} \text{ ।}$$

(e) **ঘনত্বের সূত্র :** একই ব্যাসের কিন্তু বিভিন্ন ঘনত্ব ρ_1 ও ρ_2 বিশিষ্ট দুইটি তার লইয়া (c) পরীক্ষার ন্যায় পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে,

$$\sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}=\frac{l_2}{l_1}$$ (l_1 ও l_2 সহায়ক তারের দুইটি অনুনাদী দৈর্ঘ্য।)

$$\therefore \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}=\frac{n_1}{n_2},$$

$$\text{কিংবা}\quad n_1\sqrt{\rho_1}=n_2\sqrt{\rho_2},$$

$$\text{অথবা}\quad n\propto\frac{1}{\sqrt{\rho}}\text{।}$$

দ্রষ্টব্য : টানা তারের তির্যক কম্পনের সূত্রের পরীক্ষা বলিতে প্রথম তিনটি সূত্রের পরীক্ষাই যথেষ্ট, ব্যাস ও ঘনত্বের সূত্রের পরীক্ষা না করিলেও চলে।

7.7 সনোমিটারের সাহায্যে কম্পাংক নির্ণয় (Detrmination of frequency by sonometer): সনোমিটারের সাহায্যে সুর-শলাকার কম্পাংক নির্ণয় করা যায়।

পরীক্ষা: সনোমিটারে পরীক্ষাধীন একটি তার খাটাইয়া উহাকে 4-5 কিলোগ্রাম ওজনের টান দেওয়া হয়। মনে কর এই টানের পরিমাণ T_1।

অজ্ঞাত কম্পাংকের সুরশলাকাকে বাজাইয়া উহার দণ্ডকে সনোমিটারের বাক্সের উপরে চাপিয়া ধরা হয়, এবং আঙুল দিয়া সনোমিটারের তারকে বাজানো হয়। সাধারণতঃ উভয়ের সুরে পার্থক্য থাকে। সনোমিটারের চলমান ক্ষুরধারটি সরাইয়া উহার, এবং তারের যেদিকে ভার দেওয়া আছে সেদিকের স্থির ক্ষুরধারে মধ্যে তারের দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন করা হয়। অবশেষে তারের কোন এক দৈর্ঘ্যে উহা সুরশলাকার অনুনাদী হয়। তারের দৈর্ঘ্যের মধ্যস্থলে একটি হাল্‌কা কাগজের আরোহী রাখিয়াও এই পরীক্ষা করা যায়। অনুনাদ হইলে আরোহীটি পড়িয়া যাইবে। তারের এই দৈর্ঘ্য মাপিয়া লওয়া হয়। চলমান ক্ষুরধারটি সরাইয়া ব্যবস্থাটি নষ্ট করা হয়, এবং আবার ক্ষুরধারটিকে ঠিক জায়গায় আনিয়া অনুনাদ করানো হয় ও অনুনাদী দৈর্ঘ্যটি মাপিয়া লওয়া হয়। এইভাবে তিনবার পরীক্ষা করিয়া গড় অনুনাদী দৈর্ঘ্য বাহির করা হয়। মনে কর এই গড় দৈর্ঘ্য $=l_1$।

তারের ওজন বদলাইয়া টানের পরিবর্তন করা হয়। টানের নূতন মানকে T_2 বলা যাক্। এই টানে সুরশলাকাটির সহিত তারের যে দৈর্ঘ্যের অনুনাদ হইবে তাহার মান ভিন্ন। ঠিক আগের মত করিয়া এই গড় দৈর্ঘ্য l_2 বাহির করা হয়।

একই ভাবে T_3 টানের জন্য তারের অনুনাদী দৈর্ঘ্য l_3 বাহির করিতে হয়।

পরীক্ষাধীন তারের একটি টুকরা লইয়া সতর্ক ভাবে উহার ভর M

বাহির করা হয়। একটি মিটার স্কেলের সাহায্যে টুকরাটির দৈর্ঘ্য l মাপা হয়। স্কেলের বিভিন্ন অংশ ব্যবহার করিয়া l-এর তিনটি মান বাহির করা হয় ও গড় l স্থির করা হয়।

হিসাব : মনে কর সুরশলাকার অজ্ঞাত কম্পাংক $=n$। অতএব অনুনাদী অবস্থায় তারের কম্পাংকও n হইবে।

তারের l দৈর্ঘ্যের ভর M, অতএব একক দৈর্ঘ্যের ভর $=\frac{M}{l}$।

কম্পমান তারের কম্পাংকের সংকেত অনুসারে,

$$n=\frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{T_1}{m}},$$

$$\text{আবার } n=\frac{1}{2l_2}\sqrt{\frac{T_2}{m}},$$

$$\text{এবং } n=\frac{1}{2l_3}\sqrt{\frac{T_3}{m}}\ ।$$

আদর্শ অবস্থায় তিনবারই n-এর মান সমান হওয়া উচিত, কিন্তু পরীক্ষায় তাহা সাধারণতঃ হয় না। এই তিনটি মানের গড়ই কম্পাংকের পরিমাণ দেয়।

7.9. অনুশীলন :

(a) 50 সেমি. দৈর্ঘ্যের একটি তারকে 25 কিলোগ্রাম ভার দিয়া টানিয়া রাখা হইল। তারটির 2 মিটারের ভর 4·79 গ্রাম হইলে উহার সুরের কম্পাংক কত? (g =980 সেমি./ব. সেকেণ্ড)। (C.U. 1944)

আমরা জানি, দৈর্ঘ্য l, টান T ও একক দৈর্ঘ্যের ভর m হইলে তারের কম্পনমান $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ ।

এখানে l=50 সেমি.,

T =25 কিলোগ্রাম ওজন $=25\times10^3\times980$ ডাইন,

$m=\frac{4{\cdot}79}{200}$ গ্রাম/সেমি.।

$$\therefore\quad n=\frac{1}{2\times50}\sqrt{\frac{25\times10^3\times980}{4{\cdot}79/200}}=320/\text{সেকেণ্ড প্রায়।}$$

(b) 50 সেমি. দীর্ঘ ও প্রতি মিটারে 2·45 গ্রাম ভর বিশিষ্ট একটি তারে 10 কিলোগ্রাম ওজন দিলে উহার সুরের কম্পাংক কত হইবে? (g = 980 সেমি./ব. সেকেণ্ড)।

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$ সংকেতে

$l=50$ সেমি.,

$T=10\times10^3\times980$ ডাইন,

$m=\frac{2{\cdot}45}{100}$ গ্রাম/সেমি.।

কম্পাংক $n=\frac{1}{2\times50}\sqrt{\frac{10\times10^3\times980}{2{\cdot}45/100}}=200$/সেকেণ্ড।

(c) একটি পিতলের (ঘনত্ব 8·4 গ্রাম/সিসি.) তারের দৈর্ঘ্য 100 সেমি. ও ব্যাস 1·8 মিমি. উহাতে 20 কিলোগ্রাম-ওজন টান দিলে উহার মূল সুরের কম্পাংক কত? (C.U. 1930)

তারটির দৈর্ঘ্য $l=100$ সেমি.,

টান $T=20\times10^3\times980$ ডাইন,

উহার ব্যাস $d=1{\cdot}8$ মিমি, ও ঘনত্ব $\rho=8{\cdot}4$ গ্রাম/সিসি.।

একক দৈর্ঘ্যের ভর $m=\pi.\frac{d^2}{4}\times1\times\rho$ (কারণ একক দৈর্ঘ্যের আয়তন $=\frac{\pi d^2}{4}\times1$ সিসি.

$=\pi\times\frac{{\cdot}18^2}{4}\times1\times8{\cdot}4$ গ্রাম/সেমি.

$\therefore$ উহার কম্পাংক $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}=\frac{1}{2\times100}\sqrt{\frac{20\times10^3\times980}{\pi\times{\cdot}18^2/4\times8{\cdot}4}}$

$=47$/সেকেণ্ড।

(d) 27 সেমি. দৈর্ঘ্য ও 0·0231 গ্রাম/সেমি. ভর বিশিষ্ট একটি তারকে $3{\cdot}43\times10^6$ ডাইন বল দিয়া টান করা হইল। তারের তির্যক স্পন্দনের কম্পন-মান কত?

মনে কর কম্পন মান = n।

দৈর্ঘ্য $l=27$ সেমি.,

টান $T=3{\cdot}43\times10^6$ ডাইন

একক দৈর্ঘ্যের ভর = ·0231 গ্রাম।

$$\therefore \quad n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \text{ সংকেত অনুসারে,}$$

$$n=\frac{1}{2\times 27}\sqrt{\frac{3{\cdot}43\times 10^6}{{\cdot}0231}}=225{\cdot}6/\text{সেকেণ্ড।}$$

(e) 27 ফুট দৈর্ঘ্য, ·0231 পাউণ্ড/ফুট ভর ও $3{\cdot}43\times 10^6$ পাউণ্ডাল টান যুক্ত একটি তারের কম্পনমান কত হইবে ?

রাশিগুলিকে C.G.S. এককে পরিণত করিলে,

$l=27\times 12\times 2{\cdot}54$ সেমি.,

$m={\cdot}0231\times 453{\cdot}6/12\times 2{\cdot}54$ গ্রাম/সেমি.

$T=3{\cdot}43\times 10^6\times(453{\cdot}6\times 12\times 2{\cdot}54)$ ডাইন।

[$g=mf$ সংকেতে m ও f-এর মান C.G.S.-এ পরিবর্তনের ফলে]

$$\therefore \quad n'=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$=\frac{1}{2\times 27\times 12\times 2{\cdot}54}\sqrt{\frac{3{\cdot}43\times 10^6\times 453{\cdot}6\times 12\times 2{\cdot}54}{{\cdot}0231\times 453{\cdot}6/12\times 2{\cdot}54}}$$

$$=\frac{1}{2\times 27\times 12\times 2{\cdot}54}\sqrt{\frac{3{\cdot}43\times 10^6\times 12\times 2{\cdot}54\times 12\times 2{\cdot}54}{{\cdot}0231}}$$

$$=\frac{1}{2\times 27}\times\sqrt{\frac{3{\cdot}43\times 10^6}{{\cdot}0231}}=225{\cdot}6/\text{সে.}$$

অনুশীলন (d)-এর সহিত তুলনা করিয়া দেখ, C.G.S. বা F.P.S. উভয়ঃপদ্ধতিতেই n-এর মান একই বাহির হয়।

(f) l-কে সেমি.তে, m-কে গ্রাম/সেমি.তে ও T ডাইনে মাপা হইলে n-এর একক কি হইবে দেখাও।

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}\text{ ।}$$

P = mf সংকেত হইতে,

1 ডাইন = 1 গ্রাম × 1 সেমি./ব. সেকেণ্ড

= 1 গ্রাম × সেমি./ব. সেকেণ্ড লেখা যায়।

$$\therefore \quad n=\frac{1}{2\,l\text{ সেমি.}}\sqrt{\frac{T\text{ গ্রাম}\times\text{সেমি/ব. সেকেণ্ড}}{m\text{ গ্রাম/সেমি.}}}$$

$$= \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \cdot \frac{1}{\text{সেমি.}}\sqrt{\frac{\text{ব. সেমি}}{\text{ব. সেকেণ্ড}}}$$

$$= \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \cdot \frac{1}{\text{সেকেণ্ড}}।$$

অতএব n-এর একক "প্রতি সেকেণ্ড"।

(g) 75 সেমি. দৈর্ঘ্যের একটি তার সেকেণ্ডে 120 বার তির্যক কম্পন করে। উহার দৈর্ঘ্য কমাইয়া 45 সেমি. করা হইল, কিন্তু টান 9 গুণ বাড়ানো হইল। উহার কম্পাংক এখন কত হইবে?

প্রথমে তারটির দৈর্ঘ্য ছিল $l_1 = 75$ সেমি.;

মনে কর, উহার টান ছিল T_1, এবং উহার একক দৈর্ঘ্যের ভর m_1।

উহার কম্পাংক ছিল $n_1 = 120$/সেকেণ্ড।

দ্বিতীয় অবস্থায় তারটির দৈর্ঘ্য $l_2 = 45$ সেমি.,

টান $T_2 = 9\,T_1$,

ভর m_1 রহিল।

নূতন কম্পাংক $n_2 = ?$

তাহা হইলে, $n_1 = \frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{T_1}{m_1}}$।

অর্থাৎ $120 = \frac{1}{2\times 75}\sqrt{\frac{T_1}{m_1}}$ ....(i)

পরে, $n_2 = \frac{1}{2l_2}\sqrt{\frac{T_2}{m_1}}$

$$= \frac{1}{2\times 45}\sqrt{\frac{9T_1}{m_1}} \qquad \text{.................(ii)}$$

∴ (ii)-কে (i) দ্বারা ভাগ করিয়া,

$$\frac{n_2}{120} = \frac{1}{90}\sqrt{\frac{9T_1}{m_1}} \Big/ \frac{1}{150}\sqrt{\frac{T_1}{m_1}}$$

$$= \frac{\sqrt{9T_1}}{\sqrt{T_1}} \times \frac{150}{90} = 5।$$

∴ $n_2 = 120 \times 5 = 600$/সেকেণ্ড।

(h) দুইটি তারের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থচ্ছেদ সমান, কিন্তু একটির ঘনত্ব 1·44 গ্রাম/সিসি., ও অপরটির, 16 গ্রাম/সিসি.। দুইটিতে কি অনুপাতে টান দিলে দ্বিতীয়টির কম্পাংক প্রথমটির এক অষ্টক নীচে হইবে?

মনে কর n_1 ও n_2 যথাক্রমে প্রথম ও দ্বিতীয় তারের কম্পাংক হইল।

তাহা হইলে, $n_1 = 2n_2$।

আবার, প্রথম তারের টানকে T_1 ও দ্বিতীয় তারের টানকে T_2 বলা যাক্। তাহা হইলে T_1 ও T_2 এর অনুপাত বাহির করিতে হইবে।

প্রথম তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর $m_1 = \frac{1 \cdot 44}{\pi r^2}$ গ্রাম/সেমি.

(r = উভয় তারের প্রস্থচ্ছেদের ব্যাসার্ধ)।

দ্বিতীয় তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর $m_2 = \frac{16}{\pi r^2}$ গ্রাম/সেমি.।

প্রথম তারের কম্পন-দৈর্ঘ্য l_1 = দ্বিতীয় তারের কম্পন-দৈর্ঘ্য l_2,

$$\therefore \quad n_1 = \frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{T_1}{m_1}},$$

$$n_2 = \frac{1}{2l_2}\sqrt{\frac{T_2}{m_2}}$$

$$\therefore \quad \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{T_1}{m_1}} \Big/ \frac{1}{2l_2}\sqrt{\frac{T_2}{m_2}},$$

কিংবা $$\frac{2n_2}{n_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2} \times \frac{m_2}{m_1}}$$

$$\therefore \quad 2 = \sqrt{\frac{T_1}{T_2} \times \frac{m_2}{m_1}}$$

$$\therefore \quad 4 = \frac{T_1}{T_2} \times \frac{m_2}{m_1}$$

$$\therefore \quad \frac{T_1}{T_2} = \frac{4m_1}{m_2} = \frac{4 \times \frac{1 \cdot 44}{\pi r^2}}{\frac{16}{\pi r^2}} = \frac{5 \cdot 76}{16}$$

(1) T টান বিশিষ্ট l দৈর্ঘ্যের একটি তার n কম্পাংকে স্পন্দন করে। উহার টান 89 পাউণ্ড বাড়ানো হইল, এবং দৈর্ঘ্যকে $\frac{3}{4}$ গুণ করা হইল। উহার নূতন সুরের কম্পাংক পূর্বাপেক্ষা এক অষ্টক উচ্চে উঠিল। তারে প্রথমে কত টান ছিল ?

তারের নূতন টান $T_1 = T + 89$ পাউণ্ড,

নূতন দৈর্ঘ্য $l_1 = \frac{3}{2}l$,

এবং নূতন কম্পাংক $n_1 = 2n$।

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}, \text{ (m=প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভর) } \quad \text{............(i)}$$

$$\text{আবার } n_1 = \frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{T_1}{m}} \quad \text{............(ii)}$$

(ii) নং সংকেতে n_1, l_1 ও t_1 এর মান বসাইলে,

$$2n = \frac{1}{2 \times \frac{3}{2}l}\sqrt{\frac{T+89}{m}},$$

$$\text{কিংবা } n = \frac{1}{6l}\sqrt{\frac{T+89}{m}}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{6l}\sqrt{\frac{T+89}{m}} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$\therefore \quad \sqrt{T+89} = 3\sqrt{T}$$

অথবা বর্গ করিয়া, $T+89=9T$

$\therefore \quad 8T=89$, কিংবা $T=11{\cdot}125$ পাউণ্ড।

(j) একটি দুই মুখ খোলা 50 সেমি. দীর্ঘ নলের কম্পাংক একটি 100 সেমি. দীর্ঘ ও 0·05 গ্রাম/সেমি. ভরের তারের সমান। তারটির টান কত? বাতাসে শব্দের বেগ = 340 মিটার/সেকেণ্ড।

খোলা মুখ নলের কম্পাংক n, দৈর্ঘ্য l এবং বাতাসে শব্দের বেগ v হইলে,

$$n = \frac{v}{2l}$$

$$\therefore \quad n = \frac{340 \times 100}{2 \times 50} = 340/\text{সেকেণ্ড।}$$

$\therefore$ সনোমিটারের কম্পাংক—340/সেমি.।

$$\therefore \text{ সনোমিটারের } n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \text{ সূত্র হইতে}$$

$$340 = \frac{1}{2 \times 100}\sqrt{\frac{T}{0{\cdot}05}}$$

$$\therefore \quad 340^2 = \left(\frac{1}{2 \times 100}\right)^2 \times \frac{1}{0{\cdot}05} \times T$$

$\therefore \quad T=(340)^2 \times (2 \times 100)^2 \times 0.05 = 23.13 \times 10^7$ ডাইন।

(k) একটি 50 সেমি টানা তার একটি সুরশলাকার সহিত এক-মেল। ইহার টান চারি গুণ করা হইল। দৈর্ঘ্য কত করা হইলে উহা পুনরায় এক মেল হইবে? (C. U. 1946).

আমরা জানি $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$।

এখানে n ও m স্থির রহিয়াছে।

অতএব $\frac{\sqrt{T}}{l}$ স্থির থাকিবে।

$\therefore \quad \frac{\sqrt{T}}{50}=\frac{\sqrt{4T}}{l} \qquad \therefore \quad l=100$ সেমি.।

(l) একটি সনোমিটারের উপরে একটি পিতল ও একটি ইস্পাতের তার খাটানো হইল ও উহারা একই সুর দিতে লাগিল। তার দুইটির দৈর্ঘ্য সমান, এবং পিতলের তারের টান 5 কিলোগ্রাম ওজন ও ইস্পাতের তারের টান 3 কিলোগ্রাম ওজন। ইস্পাতের তারের ব্যাস 0·8 মিমি. হইলে পিতলের তারের ব্যাস কত? ইস্পাতের ঘনত্ব—7·9, পিতলের ঘনত্ব—8·4। (C. U. 1946)

আমরা জানি, $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\pi r^2 \rho}}$ (ρ = ঘনত্ব, r = ব্যাসার্ধ)।

$\therefore$ পিতলের তারটির বেলায়, $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{5 \times 10^3 \times 980}{\pi r^2 \times 8.4}}$ ($\rho=8.4$ গ্রাম/সিসি.

ইস্পাতের তারটির বেলায়, $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{3 \times 10^3 \times 980}{\pi \times (0.04)^2 \times 7.9}}$

(r = 0·04 সেমি., ρ = 7·9 গ্রাম/সিসি)

$$\therefore \quad \sqrt{\frac{5 \times 10^3 \times 980}{\pi r^2 \times 8.4}}=\sqrt{\frac{3 \times 10^3 \times 980}{\pi \times (0.04)^2 \times 7.9}}$$

$$\therefore \quad \sqrt{\frac{5}{8.4 \times r^2}}=\sqrt{\frac{3}{7.9 \times (0.04)^2}}$$

বা $r=\sqrt{\frac{7.9 \times 5}{8.4 \times 3}} \times 0.04$

$= 0.0508$ সেমি.।

$= 0.508$ মিমি.।

∴ পিতলের তারের ব্যাস $= 2r = 2 \times 0·508 = 1·016$ মিমি.।

(m) একটি সেতারের তার 80 সেমি. দীর্ঘ, ও ইহা 288 কম্পাংকের সুর দিতেছে। উপর হইতে কত দূরে তারটিকে আঙুল দিয়া চাপিয়া ধরিলে ইহার সুরের কম্পাংক 312 হইবে ?

দৈর্ঘ্যের সূত্র অনুসারে, $n \propto \frac{1}{l}$ ।

$$\therefore \frac{n_1}{n_2} = \frac{l_2}{l_1},$$

অতএব $$\frac{288}{312} = \frac{l_2}{80},$$

কিংবা $l_2 = 73·84$ সেমি.

∴ তারটিকে উপর হইতে $80 - 73·34 = 6·16$ সেমি. নীচে চাপিয়া ধরিতে হইবে।

প্রশ্নমালা

1. টানা তারে কিরূপে তির্যক কম্পনের সৃষ্টি হয় ? এই কম্পন স্থির তরংগ উৎপাদন করে কেন ?

How can a stretched string be set into transverse vibration ? Why does this vibration produce stationary waves ?

2. সনোমিটার কি ? ইহা কি জন্য ব্যবহৃত হয় ?

সনোমিটার ও বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্রে কাঠের খোল থাকে কেন ?

What is a Sonometer ? Why is it used ?

Why are Sonometers and musical instruments provided with wooden boxes ?

3. চিত্রের সাহায্যে একটি টানা তারের তির্যক কম্পনে মূলসুর ও সমমেলের উৎপত্তি বুঝাইয়া দাও।

Explain with the help of a diagram how the fundamental and different harmonics are emitted when a stretched wire vibrates transversely ?

4. টানা তারের তির্যক কম্পনের সূত্রগুলি বর্ণনা কর। ইহাদের কিরূপে পরীক্ষা করা যায় ?

State the laws of transverse vibration of a stretched string. How can they be experimentally verified ? (C.U. 1925, '36, '41, '49 '58 ; All. U. 1945, ; Lond. U.)

5. টানা তারের তির্যক কম্পনের মান-নির্দেশক কোন সংকেত লিখ। টানা তারের সাহায্যে স্বরশলাকার কম্পাংক কিভাবে নির্ণয় করা যায় ?

Write an expression for the frequency of transverse vibration of a stretched string. (C.U. 1958)

How can the frequency of a tuning fork be determined with the help of a stretched string ? (C. U. 1945, '55)

6. একটি সনোমিটারের তারের টান 200 গ্রাম ওজন। (a) ওজন 800 গ্রাম করা হইল, (b) দৈর্ঘ্য অর্ধেক করা হইল, (c) ওজন 50 গ্রাম ও দৈর্ঘ্য অর্ধেক করা হইল। তারের কম্পাংক এই তিন ক্ষেত্রে কি ভাবে পরিবর্তিত হইবে ? [(a) $n_2 = 2n_1$, (b) $n_2 = 2n_1$, (c) $n_2 = n_1$]।

A sonometer wire is stretched by 200 gm weight. (a) The load is increased to 800 gm. wt. (b) the length is halved, (c) the load made 50 gm. and length made half. Find the changes in frequency in the three cases.

7. 36 সেমি. দীর্ঘ, এবং 0·0015 গ্রাম/সেমি, ভর বিশিষ্ট একটি তারকে 3·5 কিলোগ্রাম ওজন ঝুলাইয়া টান করা হইয়াছে। তারটির তির্যক কম্পনে মূল সুরের কম্পাংক কত ? [664/সেকেণ্ড]

A 36 cm. long wire, weighing 0·0015 gm. to the centimetre and strectched under a load of 3·5 kgm. is executing transverse vibration. Find the frequency of its fundamental note.

8. 23·5 সেমি. দীর্ঘ একটি তারের ভর 86·7 মিলিগ্রাম। এই তারে

2·7 কিলোগ্রাম ভার ঝুলাইলে তারের তির্যক স্পন্দনের কম্পাংক কত হইবে ? [567·4/সেকেণ্ড] ।

A wire, 28·5 cm. long and weighing 86·7 mgm. is stretched by 2·7 kgm. What is the fundamental frequency of its transverse vibration.

9. 36 ই. দীর্ঘ একটি তারের ভর $\frac{1}{10}$ পাউণ্ড। ইহাকে 108 পাউণ্ড ভার দিয়া ঝুলাইলে ইহার তির্যক কম্পনের কম্পন-মান কত হইবে ? (g = 32 2 ফুট/ব.সে.) । [53·83/সে]

A string 36 inches long and weighing $\frac{1}{10}$ lb is stretched by 108 lb-weight. Find its frequency of transverse vibration (g = 32·2 ft/sec^2).

10. $1\frac{1}{2}$ মিটার দীর্ঘ এবং $\frac{1}{2}$ মিমি. ব্যাস-যুক্ত একটি ইস্পাতের তারকে 25 কিলোগ্রাম ভার দিয়া রাখিলে উহার তির্যক কম্পনের মূল সুরের কম্পাংক কত হইবে ? ইস্পাতের ঘনত্ব = 7·9 গ্রাম/সিসি. । [132·47/সে.]

What is the fundamental frequency of transverse vibration of a steel wire $\frac{1}{2}$ mm. in diameter and $1\frac{1}{2}$ metre long, when it is stretched by 25 Kgm.wt. ? Density of Steel = 7·9 gm/cc.

11. একটি 60 সেমি. তারকে 10 কিলোগ্রাম ওজনের টান দিয়া ঝুলাইলে উহা হইতে 112 কম্পাংকের মূল সুর বাহির হয়। তারটির একক দৈর্ঘ্যের ভর কত ? [54·31 মিলিগ্রাম/সেমি.]

A 60 cm. long wire, streched by 10 Kgm. load, emits fundamental of 112 c.p.s. Find its mass per unit length,

12. 25 সেমি. দীর্ঘ ও 0·25 গ্রাম ভরের একটি তারের তির্যক কম্পনের মূল সুরের কম্পাংক 200/সেকেণ্ড। তারের টান কত ? [1·0204 কিলোগ্রাম-ওজন] ।

A Wire 25. cm. in length and 0·25gm. in weight emits a note of frequency 200 c.p.s. What is is tension ?

13. একটি 100 সেমি, দীর্ঘ খোলা নলের মূল সুর ও একটি 200

সেমি. দীর্ঘ তারের মূল সুরের কম্পন-মান সমান। তারের ওজন 0·01 গ্রাম/সেমি. হইলে উহার টান কত? বাতাসে শব্দের বেগ = 332 মি./সে. [45 কিলোগ্রাম]।

The pitch of the fundamental of an open pipe 100 cm. long is the same as that of a wire 200 cm. long and weighing 0·01 gm/cm. Find the tension upon the wire. Velocity of sound in air = 332 m./sec.

14. একটি সনোমিটারের তার সেকেণ্ডে 100 বার কম্পন করে। ইহার দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হইল, এবং টান এমন ভাবে পরিবর্তন করা হইল যেন উহার কম্পাংক 150 হয়। নূতন ও পুরাতন টানের সম্বন্ধ কি?

[পুরাতন টান T_1 ও নূতন টান T_2 হইলে, $T_2 = 9T_1$]

The string of a sonometer vibrates 100 times in a second. Its length is doubled, and tension altered till it vibrates 150 times in one second. Find the relation between the old and the new tensions.

15. দুইটি একই প্রকারের তার একই সুর দিতেছে। ইহাদের একটির দৈর্ঘ্য 36 ইঞ্চি, টান 100 পাউণ্ড। দ্বিতীয়টির টান 220 পাউণ্ড হইলে দৈর্ঘ্য কত?

দ্বিতীয় তারটির দৈর্ঘ্য 45 ইঞ্চি করা হইলে, উহাতে কত টান দিলে উহা আবার পূর্বের সুরে ফিরিয়া আসিবে? [53·64 ইঞ্চি, 156·25 পাউণ্ড]

Two similar strings are in unison. One is 36 inches long and stretched by 100 lb. The other is stretched by 220 lb. Find its length.

If the second string is made 45 inches long, what must be the load applied to it so that it is again in unison.

(C. U. 1938, '41)

16. একটি সনোমিটারের কম্পাংক 150; উহার টান 9 হইতে 16 অনুপাতে ও দৈর্ঘ্য 1 হইতে 2 অনুপাতে বাড়াইলে কম্পাংক কত হইবে?

[100/সেকেণ্ড]

A sonometer emits a note of 150 c.p.s. What will be

the frequency of note emitted when its tension is increased in the ratio of 9 to 16 and length in the ratio 1 to 2 ?

(C. U. 1945)

17. দুইটি সমান দৈর্ঘ্যের ইস্পাতের তারকে যথাক্রমে 729 ও 324 গ্রাম টান দিয়া রাখা হইয়াছে। ইহাদের মূল সুরের কম্পন-মানের অনুপাত 1 : 2 হইলে ইহাদের ব্যাসের অনুপাত কত ? [3 : 1]

Two steel wires of equal length, under tensions of 729 and 324 gm. respectively, emit fundamentals of pitches in the ratio of 1 : 2. Find the ratio of their diameters.

18. একটি তারের টান 2·5 কিলোগ্রাম বাড়াইলে কম্পাংক 3 : 2 হারে বাড়িল। প্রারম্ভিক টান কত ছিল ? [2 কিলোগ্রাম]

On increasing the stretching force of a given string by 2·5 kgm. the frequency of the fundamental increases in the ratio of 3 : 2, What was the original tension ?

19. একটি তারের যন্ত্রের তারটি 110 সেমি. দীর্ঘ, এবং ইহা 312 কম্পাংকের সুরে বাজিতেছে। উপর হইতে কত দূরে চাপিয়া ধরিলে তার হইতে 420 কম্পাংকের সুর বাহির হইবে ? [28·3 সেমি.]

The wire of a stringed instrument is 110 cm. long and is emitting a note of pitch 312 c/s. At what distance from the top should it be pressed so that its pitch changes to 420 c/s ?

20. একটি সনোমিটারে দুইটি একই প্রকারের তার খাটানো আছে ও একই সুর দিতেছে। ইহাদের একটির দৈর্ঘ্য 48 ইঞ্চি ও টান 120 পাউণ্ড ওজন হইলে, দ্বিতীটির টান কত ? দ্বিতীয়টির দৈর্ঘ্য = 62 ইঞ্চি।

[187·5 পাউণ্ড]

Two similar wires on a Sonometer are in unison. One is 48 inches long and is stretched by a weight of 120 lbs. Find the tension on the other which is 60 inches long.

অষ্টম পরিচ্ছেদ

সুরেলা শব্দ

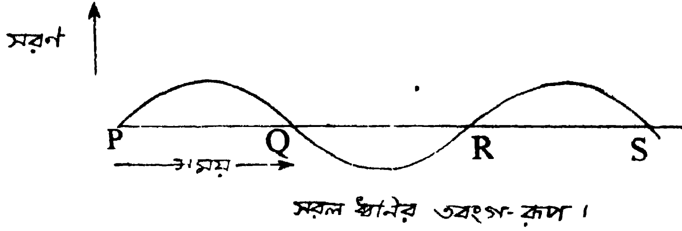
(Musical Sound)

8.1. সুরেলা ও সুরবর্জিত শব্দ (Musical Sound and Noise) : আমরা যে সমস্ত শব্দ শুনি, তাহাদের মোটামুটি দুইভাগে ভাগ করা যায়ঃ (a) সুরেলা শব্দ ও (b) সুরবর্জিত শব্দ। একটি কাঁসার থালায় আঙুল দিয়া টোকা দিতে থাকিলে উহা হইতে মিষ্ট শব্দ বাহির হইতে থাকে, কিন্তু সেই থালাটি মাটিতে ফেলিয়া দিলে যে ঝন্ ঝন্ শব্দ বাহির হয় উহা মোটেই মিষ্ট নহে। প্রথম শব্দটিকে বলে সুরেলা শব্দ ও দ্বিতীয়টিকে সুরবর্জিত শব্দ। যে শব্দ কানে শ্রুতিমধুর লাগে, তাহাই সুরেলা শব্দ ও যে শব্দ কানে শ্রুতিমধুর লাগে, তাহাই সুরবর্জিত শব্দ।

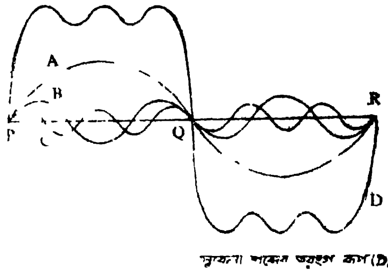
8.2. সুরেলা ও সুরবর্জিত শব্দের পার্থক্য (Difference between a musical sound and a noise) : তোমরা পূর্বেই জানিয়াছ, শব্দ বাতাসে বা অন্য মাধ্যমে কম্পন সৃষ্টি করে। একটি সরল ধ্বনির (tone)—যেমন সুরশলাকার, কম্পন তরংগের সাহায্যে দেখানো যায়। আমরা সাধারণতঃ যে সমস্ত শব্দ শুনি সে সমস্ত শব্দই যৌগিক, অর্থাৎ উহারা সাধারণতঃ কয়েকটি সরল ধ্বনির যোগে তৈয়ারী হয়। যেখানে এই শব্দের তরংগ-কম্পন নিয়মিত (regular), পর্যাবৃত্ত (periodic) ও দীর্ঘস্থায়ী (continuous) হয়, সেখানেই উহা আমাদের কাণে একটি মিষ্ট আমেজ সৃষ্টি করে ও আমরা ঐ শব্দকে একটি সুরেলা শব্দ বলি। কিন্তু যদি শব্দের তরংগ-কম্পন অনিয়মিত (irregular), অস্থায়ী (discontinuous) ও অপর্যাবৃত্ত (aperiodic) হয়, সেখানে উহা আমাদের কাছে শ্রুতিকটু লাগে। পরের পৃষ্ঠায় চিত্র হইতে ইহা বুঝিতে পারিবে।

8·1 নং চিত্রের (a)-তে একটি সরল ধ্বনির তরংগ-রূপ দেখানো

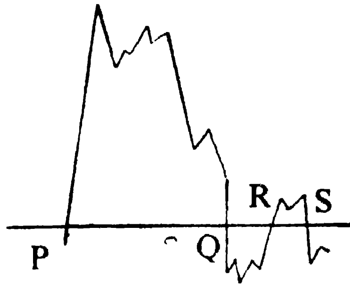
হইয়াছে। PR সময় তরংগের পর্যায়-কাল দেখাইতেছে। 8·1(b) চিত্রে একটি সুরেলা শব্দের তরংগ-রূপ দেখানো হইয়াছে। এই শব্দটি একটি



(a)



(b)



8·1 (c)

যৌগিক শব্দ, উহা A, B ও C, এই তিনটি বিভিন্ন কম্পাংকের সরল ধ্বনির সংমিশ্রণে সৃষ্টি হইয়াছে। সৃষ্ট শব্দের তরংগরূপকে D দ্বারা বুঝানো হইয়াছে।

ইহার রূপ বদলাইয়া গিয়াছে বটে, কিন্তু দেখ উহা নিয়মিত রহিয়াছে, এবং

PQ = QR হইবার ফলে উহার পর্যায় কালও সমান রহিয়াছে। অর্থাৎ উহা পর্যাবৃত্ত, এবং প্রতিবার কম্পনের ফলে একই রূপ পাওয়া যাইবে।

8·1 (c) চিত্রে একটি সুরবর্জিত শব্দের তরংগ রূপ দেখিবে। ইহা যদিও কতকগুলি সরল ধ্বনির মিশ্রণে সৃষ্ট, তবু এই মিশ্রণটি এমন হইয়াছে যে উহাদের ফল এই ধরণের তরংগ-রূপ দিয়াছে। P হইতে Q এবং Q হইতে R-এর মধ্যে তরংগের রূপ বদ্‌লাইয়া গিয়াছে। অর্থাৎ উহা অনিয়মিত ; তাহা ছাড়া PQ এবং QR অসমান, অর্থাৎ উহার পর্যায় কাল স্থির নহে, অতএব উহা অপর্যাবৃত্ত। তাহা ছাড়া এই শব্দ সাধারণতঃ দীর্ঘস্থায়ী হয় না, শীঘ্রই থামিয়া যায়।

তবে, একটি মজার কথা এই যে, কোন শব্দ সুরেলা বা সুরবর্জিত কিনা, তাহা শ্রোতার কান ও মেজাজের উপর নির্ভর করে। একই শব্দ কোন শ্রোতার কাছে মিষ্ট, আবার কাহারও কাছে শ্রুতিকটু লাগে, আবার একই লোকেরই এক শব্দ কখনও মিষ্ট, আবার কখনও তিক্ত মনে হয়।

হাটের মাঝে দাঁড়াইয়া লোকের গোলমালকে শ্রুতিকটু মনে হয়, কিন্তু দূর হইতে হাটের ভীড়ের গুণগুণ ধ্বনি অত খারাপ লাগে না। কাজেই সুরবর্জিত শব্দ দূর হইতেও সুরেলা মনে হয়। ইহার কারণ হইল সুরবর্জিত শব্দের মধ্যে যে উচ্চ কম্পনের শব্দ-তরংগগুলি মিশানো থাকে, তাহারা কিছু দূরে গিয়া মৃদু হইয়া যায় ফলে সুরবর্জিত শব্দের তীক্ষ্ণতা নষ্ট হইয়া উহার তরংগ-রূপটি মোলায়েম হইয়া যায়। চিত্র নং 8·1 (c) হইতে ইহা বুঝিতে পারিবে।

8.3. শুদ্ধ ধ্বনি (Tone) ও যৌগিক শব্দ (Note) :

সাধারণতঃ যে সমস্ত শব্দ শোনা যায়, তাহারা যৌগিক শব্দ। আমাদের গলার আওয়াজ, একটি সেতারের শব্দ, গাড়ীর শব্দ, এ-সমস্তই যৌগিক শব্দ। সুরশলাকা অবশ্য সরল বা শুদ্ধ ধ্বনির সৃষ্টি করে। সাদা আলো যেমন আসলে অনেকগুলি বর্ণের মিশ্রনে প্রস্তুত, তেমনই যৌগিক শব্দ কতকগুলি বিভিন্ন কম্পাংকের শুদ্ধ ধ্বনির মিলনে সৃষ্টি হয়। এই ধ্বনিগুলির মধ্যে যেটির কম্পাংক সর্বাপেক্ষা কম, তাহাকে **মূলসুর** (Fundamental) বলে, এবং উচ্চতর কম্পাংকের ধ্বনিগুলিকে বলে

মূলসুরের উপসুর (Overtones)। হারমোনিয়ামের বিভিন্ন চাবি টিপিলে প্রায় সরল ধ্বনি বাহির হয়। উহার 'সা', 'রে' ধ্বনি দুটির মধ্যে 'রে' কে 'সা'-র উপসুর বলা যায়। 'রে' ধ্বনির কম্পাংক 'সা' ধ্বনির কম্পাংকের $\frac{9}{8}$ গুণ। 'সা' চাবি ও 'রে' চাবি একসংগে টিপিলে যে শব্দ বাহির হয় উহার 'সা'-ধ্বনিটি হইল মূল সুর ও 'রে' ধ্বনি হইল উপসুর।

প্রকৃত পক্ষে সুরশলাকা বা হারমোনিয়াম কেহই বিশুদ্ধ ধ্বনি দেয় না, তবে সুরশলাকায় যে উপসুর দুইটি থাকে (মূলসুরের 6·25 ও 17·6 গুণ কম্পাংক বিশিষ্ট), উহাদের তীব্রতা খুব সামান্য। হারমোনিয়ামে অবশ্য উপসুরগুলির তীব্রতা যথেষ্ট। হারমোনিয়ামের উদাহরণটি ব্যাখ্যার জন্য দেওয়া হইয়াছে।

কোন শব্দে যে উপসুরগুলি মিশানো থাকে, তাহার মধ্যে যে সমস্ত উপসুরগুলির কম্পাংক মূল সুরের কম্পাংকের সরল গুণিতক হয়, তাহাদের মূলসুরের সমমেল (harmonics) বলা হয়। হারমোনিয়ামে 'তারার' সা-এর কম্পাংক 'মুদারা'র 'সা'-এর দ্বিগুণ। সে জন্য তারার 'সা' ধ্বনিকে মুদারার 'সা' ধ্বনির সমমেল বলা হয়। মূল সুরের দ্বিগুণ কম্পাংকের সমমেলের নাম প্রথম সমমেল (First Harmonic) বা অষ্টক (Octave)। তারার 'সা' মুদারার 'সা'-এর অষ্টক, আবার উহা উদারার 'সা'-এর দ্বিতীয় সমমেল (Second Harmonic)।

8.4 সুরেলা শব্দের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of a Musical Sound) : একটি যৌগিক শব্দে একটি মূল সুরের সহিত কতকগুলি উপসুর মিশানো থাকে। কম্পাংকের ও ঠিকমত প্রাবল্যের (intensity) কতকগুলি উপসুর মিশাইয়া তবেই একটি সুরেলা বা সুরবর্জিত শব্দ সৃষ্টি করা যায়।

সাধারণতঃ যে সমস্ত শব্দ লইয়া আমাদের কাজ, তাহারা সুরেলা শব্দ, সেজন্য শব্দ-তত্ত্বে সুরেলা শব্দের আলোচনাই করা হইয়া থাকে। আমরা সুরেলা শব্দের বৈশিষ্ট্যই আলোচনা করিব।

তোমরা হয়তো সেতার বা অন্য কোন বাদ্যযন্ত্র দেখিয়াছ। উহা কখন উচ্চ-স্বরে বা মৃদুভাবে বাজানো হইতেছে তাহা তোমরা উহার শব্দ শুনিয়া ধরিতে পারিবে। দুইটি শব্দের তীব্রতা (Intensity) বা প্রাবল্য (Loudness) পৃথক হইলে শব্দ দুইটির পার্থক্য বোঝা যায়।

একটি গান যখন একজন পুরুষ শিল্পী ও একজন মহিলা শিল্পী গাহিতে

থাকেন, তখন পুরুষ শিল্পীর কণ্ঠ ও মহিলা শিল্পীর কণ্ঠ শুনিয়া বুঝিতে পারা যায়। অর্থাৎ সুরেলা শব্দের পার্থক্য তীক্ষ্ণতার (Pitch) পরিবর্তন হইতে ধরা যায়।

সেতার ও বেহালা দুইটি ভিন্ন বাদ্যযন্ত্র, উহাদের একটির তারকে আঙুল দিয়া টানিয়া ও ছাড়িয়া বাজানো হয়, আর দ্বিতীয়টিতে ছড় টানা হয়। যন্ত্র দুইটি একই সুরে বাঁধা থাকিলেও উহাদের শব্দের পার্থক্য বোঝা যায়। বলা হয় শব্দ দুইটির গুণ (Quality) বা জাতি (Timbre) পৃথক। সুরেলা শব্দের তিনটি বৈশিষ্ট্য থাকে, এবং তিনটি বৈশিষ্ট্যের এক বা একাধিকের পার্থক্য থাকিলেই একটি সুরেলা শব্দ অন্যটি হইতে ভিন্ন বলিয়া ধরা যায়।

8.5. তীব্রতা (Intensity) বা প্রাবল্য (Loudness): তীব্রতা দ্বারা শব্দ কত জোরে হইতেছে তাহাই বুঝায়। দুইটি একই প্রকারের শব্দ জোরালো বা মৃদু হইলে উহাদের পার্থক্য সহজেই ধরা যায়। শব্দ কত জোরে উৎপন্ন হইতেছে তাহাই উহার তীব্রতা নির্ণয় করে, আবার শ্রোতা উহা কত জোরে শুনিতেছে তাহাই উহার প্রাবল্য নির্ধারণ করে। শ্রোতা শব্দটি কি রকম শুনিবেন তাহা কিন্তু মূলতঃ উহার প্রাবল্যের উপর নির্ভর করে, যদিও প্রাবল্য তীক্ষ্ণতার উপরে বিশেষভাবে নির্ভরশীল। তবু, একই তীব্রতার শব্দ একটি সাধারণ শ্রোতা যত প্রবলভাবে শুনিবেন, একজন কালা তত জোরে শুনিবেন না। তবে, সাধারণভাবে তীব্রতা ও প্রাবল্যকে প্রায় এক অর্থেই ব্যবহার করার ঝোঁক আছে। আলোর ঔজ্জ্বল্য ও শব্দের প্রাবল্য এক প্রকৃতির জিনিস।

শব্দের তীব্রতা মাপিবার জন্য একটি একক নির্দিষ্ট হইয়াছে। এই মাপকাঠিটি কিন্তু একটু অন্যরকম। শব্দ-তরংগের গতিপথের উপরে অভিলম্ব তলে প্রতি এক বর্গ সেমি. ক্ষেত্রের ভিতর দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে যে পরিমাণ শব্দ-শক্তি যাইতেছে তাহাই উহার তীব্রতা নির্ধারণ করে। সাধারণতঃ প্রতি বর্গ সেমি, ক্ষেত্রের ভিতর দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে 10^{16} মূল শব্দ শক্তি গেলে আমরা ঐ শব্দের তীব্রতাকে একক তীব্রতা বলি। শব্দতত্ত্বের ভাষায় ইহাকে শূন্য ডেসিবেল (decibel) বলা হয়। ইহার অপেক্ষা 10 গুণ তীব্র শব্দকে উহার অপেক্ষা 1 বেল তীব্রতর বলা হয়। সূক্ষ্ম পরীক্ষায় দেখা গিয়াছে যে কানের শব্দ গ্রহণ-শক্তি শুধু শব্দের

তীব্রতার উপরই নির্ভর করে না, উহার কম্পাংকের উপরও নির্ভর করে। যেমন বলা যায় 1000/সেকেণ্ড কম্পাংক বিশিষ্ট শব্দের কোন তীব্রতা আমাদের যত প্রবল মনে হয়, 3500/সেকেণ্ড কম্পাংকের শব্দের সেই তীব্রতা আমাদের কাছে, তাহার অপেক্ষা আড়াই গুণ প্রবল লাগে।

শব্দের তীব্রতা কতকগুলি রাশির উপর নির্ভর করে:—(i) স্বনক হইতে শ্রোতার দূরত্ব (Distance between the source and the observer), (ii) স্বনকের আকার (Size of the soruce of sound), (iii) স্বনকের কম্পনের বিস্তার (Amplitude of vibration of the source of sound), (iv) মাধ্যমের ঘনত্ব (Density of the medium), এবং (v) পরবশ কম্পনে সক্ষম অনুনাদী বস্তুর উপস্থিতি (Presenee of bodies capable of forced vibration or resonant bodies)।

(i) **স্বনক হইতে শ্রোতার দূরত্ব:** শব্দের তীব্রতা স্বনক হইতে দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক হারে পরিবর্তিত হয়। স্বনক হইতে 1 মিটার দূরে তীব্রতা যত, 2 মিটার দূরে তীব্রতা তাহার এক-চতুর্থাংশ। কাজেই শ্রোতা 1 মিটার দূরে থাকিলে যত প্রবল শব্দ শুনিবেন, 2 মিটার দূরে প্রাবল্য তাহার এক-চতুর্থাংশ হইবে, অবশ্য যদি অন্য সমস্ত রাশি স্থির থাকে।

মনে কর, কোন উৎস হইতে প্রতি সেকেণ্ডে E-পরিমাণ শব্দ-শক্তি চারিদিকে সমবেগে ছড়াইয়া পড়িতেছে। শ্রোতা উৎস হইতে r_1 দূরত্বে আছেন। তাহা হইলে শ্রোতার অবস্থান-বিন্দুতে শব্দ-তরংগের অভিলম্ব দিকে 1 ব. সেমি. তলে প্রতি সেকেণ্ডে যে পরিমাণ শব্দ-শক্তি পড়িবে তাহাই এই বিন্দুতে তীব্রতা দিবে।

আমরা যদি স্বনককে কেন্দ্র করিয়া r_1 ব্যাস লইয়া একটি ফাঁপা গোলকের কল্পনা করি, তাহা হইলে প্রতি সেকেণ্ডে E শক্তি এই গোলকের পৃষ্ঠের ভিতর দিয়া বাহয়া যাইবে, ও এই গোলকের পৃষ্ঠ সর্বত্রই শব্দের তরংগ গতির অভিমুখের অভিলম্ব হইবে।

সুতরাং এই গোলকের পৃষ্ঠের প্রতি একক ক্ষেত্রফল দিয়া $\frac{E}{4\pi r_1^2}$ পরিমাণ শক্তি প্রতি সেকেণ্ডে বহিয়া যাইতেছে।

সুতরাং শ্রোতার অবস্থানে ইহাই শব্দের তীব্রতা I_1।

$$\therefore \ I_1 = \frac{E}{4\pi r_1^2} \text{।}$$

শ্রোতা যদি উৎস হইতে I_2 দূরত্বে সরিয়া যান, তবে সেখানে শব্দের তীব্রতা $I_2 = \frac{E}{4\pi r_2^2}$ ।

$$\therefore \ \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}, \text{ অথবা } I \propto \frac{1}{r^2} \text{।}$$

(ii) **স্বনকের আকার** বড় হইলে শব্দের তীব্রতা বাড়ে, আকার ছোট হইলে শব্দ কম তীব্র হয়। ইহার কারণ, স্বনকের আকার বড় হইলে উহা একসংগে মাধ্যমের অনেকখানি আয়তনকে স্পন্দিত করিতে পারে।

(iii) **স্বনকের কম্পনের বিস্তার** যত বড হয়, ততই শব্দের তীব্রতা বাড়ে। বস্তুটি যত জোরে কম্পিত হইবে, উহা তত বেশী গতি-শক্তি মাধ্যমে সঞ্চালিত করিতে পারিবে, ফলে শব্দের তীব্রতা বাড়িবে।

স্বনকের কম্পনের বিস্তার যদি a হয়, তবে তীব্রতা $I \propto a^2$, প্রমাণ করা যায়।

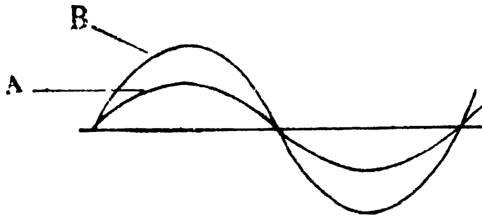
(iv) **মাধ্যমের ঘনত্ব:** যে মাধ্যম দিয়া শব্দ যাইতেছে, সেই মাধ্যমের ঘনত্ব বেশী হইলে শব্দের তীব্রতা বাড়ে। শ্রোতা ও স্বনকের দূরত্ব যদি সমান থাকে, তাহা হইলেও জলে শব্দ যত জোরে শোনা যায়, বাতাসে তত জোরে শোনা যায় না।

(v) **পরবশ কম্পনে সক্ষম বা অনুনাদী বস্তুর উপস্থিতি** শব্দের তীব্রতা বাড়ায়। একটি সুরশলাকাকে বাজাইয়া কাণের কাছে না ধরিলে তাহার শব্দ শোনা যায় না। কিন্তু উহার দণ্ডটি টেবিলের উপর ধরিলে শব্দ অনেক জোরালো হয়। টেবিলটি এখানে পরবশ কম্পনে উদ্বুদ্ধ হয়। পরবশ বস্তুটি যদি অনুনাদী হয়, তবে শব্দের তীব্রতা আরও বাড়ে। অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ সুরশলাকার শব্দকে বহুগুণ জোরালো করে।

8·2 (a) নং চিত্রে দুইটি শব্দের প্রাবল্যের পার্থক্য দেখানো হইয়াছে। B শব্দটি A শব্দ অপেক্ষা প্রবল।

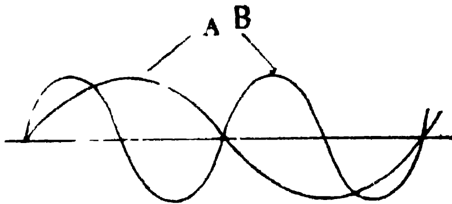
সুরেলা শব্দের মত সুরবর্জিত শব্দেরও একটি বৈশিষ্ট্য তীব্রতা।

8.6. তীক্ষ্ণতা (Pitch) : একই তীব্রতা-বিশিষ্ট ও একই যন্ত্র হইতে সৃষ্ট দুইটি শব্দের মধ্যে তীক্ষ্ণতার পার্থক্য থাকিলে তাহাদের ভিন্নতা ধরা পড়ে। সুরেলা শব্দের মূল সুরের কম্পাংকের উপরে শব্দের তীক্ষ্ণতা নির্ভর করে। তীক্ষ্ণতাকে সাধারণতঃ কম্পাংক দিয়াই বুঝানো হয়, এমন কি অনেক সময়ে কম্পাংকের এককেই, অর্থাৎ কম্পন-হার/সেকেণ্ড হিসাবে, প্রকাশ করা হয় কিন্তু ইহারা দুইটি পৃথক রাশি। তীক্ষ্ণতা প্রকৃতপক্ষে একটি দৈহিক অনুভূতি মাত্র। যে শব্দের কম্পাংক কম, তাহার তীক্ষ্ণতাও কম হয়। শব্দের তীক্ষ্ণতাকে আমরা আলোকের বর্ণের সহিত তুলনা করিতে পারি। বর্ণ যেমন কম্পাংকের উপর নির্ভর করে, তেমনি তীক্ষ্ণতাও কম্পাংকের উপর নির্ভরশীল। কিন্তু বর্ণ ও আলোকের কম্পাংক এক নহে, কারণ বর্ণ একটি দৈহিক অনুভূতি। হারমোনিয়ামের চাবিগুলি পরপর টিপিয়া গেলে ক্রমে ক্রমে শব্দের তীক্ষ্ণতা বাড়িতে থাকে।



দুইটি শব্দের প্রাবল্যের পার্থক্য

(a)



দুইটি শব্দের তীক্ষ্ণতার পার্থক্য

8·2 (b)

উপরের চিত্রে দেখ, (a) চিত্রে দুইটি শব্দের তীক্ষ্ণতা সমান, কারণ কম্পাংক সমান, কিন্তু উহাদের প্রাবল্য পৃথক। (b) চিত্রে দুইটি শব্দের প্রাবল্য সমান, কিন্তু B শব্দের তীক্ষ্ণতা A শব্দের দ্বিগুণ হইবে।

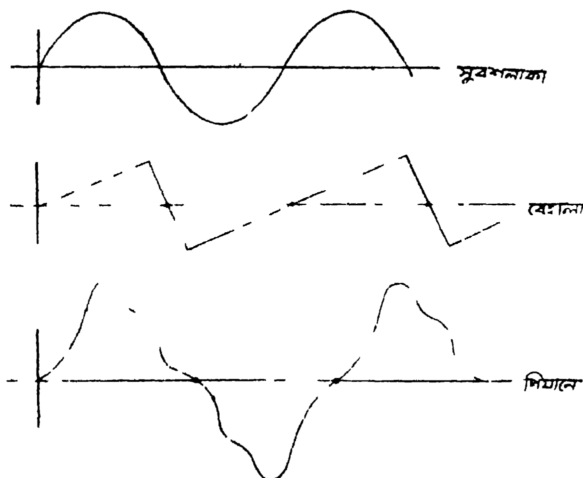
সুরবর্জিত শব্দের কোন নির্দিষ্ট তীক্ষ্ণতা থাকে না।

শব্দের তীক্ষ্ণতা স্বনকের আকার, টান, ঘনত্ব ও স্থিতিস্থাপক গুণের নির্ভর করে। তবে এই সম্পর্ক অত্যন্ত জটিল। উদাহরণ স্বরূপ বলা যায়, সুরশলাকার কম্পাংক দৈর্ঘ্য বাড়িলে কমে ও প্রসার বাড়িলে বাড়ে। তারের কম্পাংক দৈর্ঘ্য বাড়াইলে কমে, টান বাড়াইলে বাড়ে।

8.7. গুণ (Quality) বা জাতি (Timbre) : একই তীক্ষ্ণতা ও একই প্রাবল্য-বিশিষ্ট দুইটি শব্দের গুণ বা জাতির পার্থক্য থাকিলে উহাদের আলাদা করিয়া ধরা যায়। একটি পিয়ানো ও একটি বেহালায় একই সুর বাজানো হইলেও উহাদের পার্থক্য সুর সম্বন্ধে অতিশয় অজ্ঞ ব্যক্তিও ধরিতে পারিবেন।

সুরেলা শব্দের গুণ মূল সুরের সহিত কতকগুলি উপসুরের উপস্থিতির উপরে নির্ভর করে। দুইটি সুরেলা শব্দের মূল সুর এক হইলেও যদি উহাদের সহিত বিভিন্ন কম্পাংকের উপসুর মিশানো যায়, এমনকি একই কম্পাংকের উপসুর বিভিন্ন মাত্রায় মিশানো যায়, তবেই শব্দ দুইটির গুণ আলাদা হয়।

মূল সুরের সহিত বিভিন্ন উপসুর মিশানো থাকায় সুরেলা শব্দের তরংগ-রূপ জটিল হয়। 8·3 নং চিত্রে কয়েকটি একই কম্পাংকের ও একই তীক্ষ্ণতার শব্দের তরংগ-রূপ দেখা যাইতেছে।



বিভিন্ন যন্ত্রের সুরেলা শব্দের তরংগ রূপ

8·3

শব্দের গুণ স্বনকের আকৃতি, ভর এবং উহাকে কিভাবে উত্তেজিত করা হইল তাহার উপর নির্ভর করে। একই তারকে সেতারের ন্যায় বাজাইলে ও বেহালার ন্যায় বাজাইলে দুই ভিন্ন জাতির শব্দ বাহির হয়।

8.8 শব্দের তীব্রতার পরিমাপ (Measurement of Intensity of sound) : সাধারণতঃ শব্দ তরংগের বিস্তার মাপিয়া উহার তীব্রতার পরিমাপ করা চলে। কিন্তু আমরা যে শব্দ শুনিতে পারি তাহার তীব্রতা খুব কম, প্রতি সেকেণ্ডে 10^{-16} জুল/ব. সেমি. হইতে 10^{-6} জুল/ব. সেমি. মাত্র। ইহার কম বা বেশী তীব্রতার শব্দ আমাদের কানে পৌঁছায় না, এই তীব্রতা সাধারণ যন্ত্রে মাপা দুঃসাধ্য। র‍্যালে চক্র নামক বিশেষ যন্ত্রের সাহায্যে এই তীব্রতা মাপিতে হয়।

8.9. শব্দের তীক্ষ্ণতার পরিমাপ (Measurement of Pitch of Sound) :—কম্পাংক মাপিয়াই শব্দের তীক্ষ্ণতার পরিমাপ করা হয়। নানা প্রকারের যন্ত্র দ্বারা কম্পাংক মাপা হয়।

(a) সীবেকের সাইরেন (Seebeck's Siren) দ্বারা :

এই যন্ত্রে একটি ধাতব চাকৃতিকে একটি অনুভূমিক অক্ষের উপরে ঘুরানো যায়। চাক্‌তিটি ঘুরাইবার জন্য উহা বেলটের সাহায্যে একটি ঘুরণ-চক্রের সহিত লাগানো আছে। চাক্‌তির গায়ে কতকগুলি সমকেন্দ্রিক বৃত্তের পরিধি বরাবর সমদূরত্বে ছিদ্র করা আছে। যে কোন বৃত্তের উপরে যে ছিদ্রগুলি আছে, উহারা সমান মাপের, ও পরস্পর হইতে সমান দূরত্বে অবস্থিত। চাক্‌তির সামনে একটি সরু কাচের মুখ বা ধাতব নল দাঁড় করানো থাকে। এই নলের ভিতর দিয়া হাপরের সাহায্যে নির্দিষ্ট উচ্চ-চাপের বাতাস আসিয়া চাক্‌তির উপরে পড়ে। নলটির অবস্থান এক-আধটু বদলাইয়া উহাকে যে কোন সমবৃত্ত ছিদ্র-শ্রেণীর সামনে রাখা যায়। চাক্‌তির ঘূর্ণন-বেগ মাপিবার জন্য একটি দ্রুতি-মাপক (Speed Counter) লাগানোর ব্যবস্থা থাকে।



8·4

ঘুরণ-চক্র ঘুরাইয়া চাকৃতিটিকে ঘুরাইয়া নলের ভিতর দিয়া উচ্চ-চাপের বাতাস চাকৃতির উপর ফেলিলে, সেই বাতাস যখন একটি ছিদ্র-পথ পায় তখন সেই ছিদ্র দিয়া বাহির হইয়া চাক্‌তির অপর পৃষ্ঠে একটি ঘনীভূত চাপের সৃষ্টি করে। চাক্‌তিটি ঘুরিতেছে বলিয়া পরের মুহূর্তেই নলের মুখ হইতে ছিদ্রটি সরিয়া যায়, ফলে বাতাস আর চাক্‌তির উল্টা পিঠে বাহির

হইতে পারে না, তখন আগের ঘনীভূত দাপটি স্বাভাবিক হইবার চেষ্টায় উল্টা-পিঠের বাতাসে তনূভবনের সৃষ্টি করে। পরের মুহূর্তেই দ্বিতীয় ছিদ্রের সাহায্যে আবার বাতাসে ঘনীভবন হয়। ফলে চাক্‌তির যে পিঠে নল আছে, তাহার বিপরীত পৃষ্ঠে বাতাসে ঘনীভবন ও তনূভবন তরংগের সৃষ্টি হয় এবং শব্দ হইতে থাকে। চাক্‌তির ঘূর্ণনের ফলে প্রতি সেকেণ্ডে যতগুলি ছিদ্র নলের সম্মুখ দিয়া পার হইয়া যায়, বাতাসে সেকেণ্ডে ততগুলি ঘনীভবন চাপের সৃষ্টি হয়, এবং ফলে তত কম্পাংকের শব্দ সৃষ্টি হয়। চাক্‌তির যে বৃত্তস্থ ছিদ্রগুলি দিয়া বাতাস বাহির হইতেছে তাহাদের সংখ্যা যদি m হয়, এবং চাক্‌তির ঘূর্ণন-বেগ যদি সেকেণ্ডে n হয়, তবে প্রতি সেকেণ্ডে চাকৃতির সাহায্যে বাতাসে m × nটি শব্দ-তরংগের সৃষ্টি হয়, এবং আমরা m×n কম্পাংকের শব্দ শুনিতে পাই। চাকৃতির ঘূর্ণন-বেগ বাড়াইয়া কমাইয়া, বা বিভিন্ন বৃত্তস্থ ছিদ্রের শ্রেণী ব্যবহার করিয়া বিভিন্ন কম্পাংকের শব্দ সৃষ্টি করা যায়।

কোন সুরেলা শব্দের তীক্ষ্ণতা বাহির করিতে হইলে একটি সাইরেনের সাহায্য লওয়া যায়। সুরেলা শব্দটি সৃষ্টি করিতে হয় এবং সাইরেনটিও চালাইতে হয়। ঘোরা সুরু করিবার সময়ে প্রথম সাইরেনটি ধীরে ধীরে চলিতে আরম্ভ করে, তখন উহা হইতে মোটা শব্দ বাহির হয়। উহার গতি যতই বাড়িতে থাকে, উহার শব্দের তীক্ষ্ণতাও ততই বাড়িতে থাকে। অবশেষে যখন উহার তীক্ষ্ণতা ও অজানা শব্দটির তীক্ষ্ণতা সমান হয়, তখন দুই শব্দের একমেল (unison) হইল বলা হয়। এই অবস্থায় সাইরেনের ঘূর্ণন-বেগ ও যে বৃত্তের ছিদ্র-শ্রেণী ব্যবহার করা হইল সেই বৃত্তের ছিদ্রের সংখ্যা জানিয়া সাইরেনের শব্দের, অর্থাৎ অজানা শব্দেরও, তীক্ষ্ণতা বাহির হয়। অজানা শব্দের তীক্ষ্ণতা যত বেশী হয়, ততই সাইরেনের বেশী সংখ্যক ছিদ্রের বৃত্ত ব্যবহার করিতে হয়।

অনুশীলন :

(i) একটি সাইরেনের ছিদ্র সংখ্যা 100 এবং উহার ঘূর্ণন-বেগ মিনিটে 192। সাইরেনের শব্দের কম্পাংক কত ?

সাইরেনের ছিদ্রসংখ্যা $m = 100$।

প্রতি সেকেণ্ডে সাইরেনের ঘূর্ণন-বেগ $= \frac{192}{60} = 3\cdot2$।

∴ সাইরেনের নিঃসৃত শব্দের কম্পাংক $= m \times n$

$= 100 \times 3 \cdot 2 = 320$/সেকেণ্ড।

(ii) একটি শব্দের তীক্ষ্ণতা মাপিবার কাজে একটি সীবেকের সাইরেন ব্যবহৃত হইল। সাইরেনের ঘূর্ণন-বেগ যখন সেকেণ্ডে 2, এবং বৃত্তের ছিদ্র-সংখ্যা 128, তখন সাইরেনের শব্দ ও অজানা শব্দটি একমেল হইল। অজানা শব্দের তীক্ষ্ণতা কত?

সাইরেনের ছিদ্রসংখ্যা $m = 128$

" ঘূর্ণন-বেগ $n = 2$/সেকেণ্ড।

∴ সাইরেনের শব্দের কম্পাংক $= m \times n = 128 \times 2 = 256$/সেকেণ্ড।

অজানা শব্দটি সাইরেনের শব্দের সহিত একমেল, অতএব ঐ শব্দের কম্পাংকও 256/সেকেণ্ড।

(iii) একটি শব্দের তীক্ষ্ণতা মাপিতে গিয়া দেখা গেল যে উহা একটি সাইরেনের শব্দের এক অষ্টক উচ্চতর হইল। সাইরেনের ঘূর্ণন বেগ প্রতি সেকেণ্ডে 4 ও ছিদ্রসংখ্যা 72 হইলে, ঐ শব্দের কম্পাংক কত?

সাইরেনের ছিদ্রসংখ্যা = 72

উহার ঘূর্ণন-বেগ = 4/সেকেণ্ড।

∴ উহার শব্দের কম্পাংক $= 72 \times 4 = 288$/সেকেণ্ড।

আলোচ্য শব্দের কম্পাংক সাইরেণের শব্দের দ্বিগুণ, অতএব উহার কম্পাংক $= 288 \times 2 = 576$/সেকেণ্ড।

(iv) একটি সাইরেনে তিনটি সমকেন্দ্রিক বৃত্তের উপরে ছিদ্র আছে। তিনটি বৃত্তস্থ ছিদ্রগুলিই সমদূরত্ব-বিশিষ্ট। সাইরেনটি যখন সেকেণ্ডে 5 বার ঘোরে তখন উহার সর্বাপেক্ষা ভিতরের বৃত্তের ছিদ্র ব্যবহার করিলে 320 কম্পাংকের শব্দ বাহির হয়, আবার সর্বাপেক্ষা বাহিরের বৃত্তের ছিদ্রগুলি ব্যবহার করিলে এক অষ্টক উচ্চতর শব্দ বাহির হয়। ভিতরের বৃত্তের ব্যাসার্ধ 8 সেমি. হইলে, এবং বৃত্তগুলি পরস্পর সমান দূরবর্তী হইলে, দ্বিতীয় বৃত্তের ব্যাসার্ধ কত?

এখানে, ভিতরের বৃত্তের ছিদ্রসংখ্যা m হইলে,

কম্পাংক $320 = m \times 5$; ∴ $m = 64$।

এখন, সর্বাপেক্ষা বাহিরের বৃত্তের নিঃসৃত শব্দের কম্পাংক $= 2 \times 320 =$ 640/সেকেণ্ড।

ঘূর্ণন বেগ পূর্বের ন্যায় 5,

অতএব এই বৃত্তের ছিদ্রসংখ্যা $m' = \frac{640}{5} = 128$ ।

আবার, সবকয়টি বৃত্তের ছিদ্রগুলিই সমদূরবর্তী ।

অর্থাৎ, প্রথম ভিতরের বৃত্তের ছিদ্রগুলির পরস্পর দূরত্ব বাহিরের বৃত্তের ছিদ্রগুলির দূরত্বের সমান ।

ভিতরের বৃত্তের পরিধি $= 2\pi \times 8 = 16\pi$ সেমি ।

এই পরিধির মধ্যে 64টি ছিদ্র আছে। অতএব পরপর দুইটি ছিদ্রের কেন্দ্রের মধ্যে দূরত্ব $= \frac{16\pi}{64}$ সেমি. ।

বাহিরের বৃত্তের পরস্পর ছিদ্রগুলির কেন্দ্রের মধ্যের দূরত্বও সমান হইবে ।

অতএব বাহিরের বৃত্তের পরিধি $= \frac{16\pi}{64} \times 128 = 32\pi$

$\therefore$ উহার ব্যাসার্ধ r' হইলে, $2\pi r' = 32\pi$,

কিংবা $r' = 16$ সেমি. ।

বৃত্তগুলি পরস্পর সমদূরবর্তী, অতএব দ্বিতীয় বৃত্তের ব্যাসার্ধ $= \frac{8+16}{2}$

$= 12$ সেমি. ।

(v) একটি সাইরেন সেকেণ্ডে দশবার ঘুরিতেছে। 484 কম্পাংক-বিশিষ্ট একটি সুরশলাকার সহিত সাইরেনটির কম্পাংকের পার্থক্য 4 হইলে সাইরেনে কয়টি ছিদ্র আছে ? (C.U. 1953-পরিবর্তিত) ।

সাইরেনের কম্পাংক স্বভাবতঃই $484 + 4 = 488$ বা $484 - 4 = 480$ হইবে ।

আবার কম্পাংক = ঘূর্ণন-বেগ × ছিদ্র-সংখ্যা ।

$\therefore$ কম্পাংক যদি 488 হয়, তবে $488 = 10 \times$ ছিদ্র-সংখ্যা

$\therefore$ ছিদ্র-সংখ্যা $= \frac{488}{10} = 48{\cdot}8$ ।

কিন্তু ছিদ্র-সংখ্যা কখনই ভগ্নাংশ হওয়া সম্ভব নহে। সুতরাং এই উত্তর শুদ্ধ নহে ।

কম্পাংক যদি 480 হয় তবে 480 = 10 × ছিদ্র-সংখ্যা

∴ ছিদ্র-সংখ্যা $= \frac{480}{10} = 48$। এই উত্তরই সম্ভব।

∴ সাইরেনের চাকৃতিতে ছিদ্র-সংখ্যা = 48।

(vi) একটি গাড়ীর চাকার দণ্ডের সংখ্যা 32। গাড়ীটি যখন চলিতেছে, তখন চাকার গায়ে একটি কাঠের টুকরা চাপিয়া ধরিলে উহা হইতে 512 কম্পাংকের একটি শব্দ বাহির হয়। চাকার ব্যাস 20 ইঞ্চি হইলে গাড়ীর বেগ কত?

চাকার বেড় হইতে গাড়ীর বেগ বাহির করিতে হইলে স্বভাবতঃই চাকার ঘূর্ণন-বেগ বাহির করিতে হইবে।

চাকার শব্দের কম্পাংক = 512 = দণ্ডের সংখ্যা × সেকেণ্ডে ঘূর্ণন বেগ।

∴ চাকার ঘূর্ণন বেগ = 16/সেকেণ্ড।

চাকার পরিধি $= 2\pi \times$ ব্যাসার্ধ $= 2\pi \times 10$ ইঞ্চি।

∴ প্রতি সেকেণ্ডে চাকা 16 বার ঘুরিবার ফলে $2\pi \times 10 \times 16$ ইঞ্চি যায়।

অতএব ঘণ্টায় উহার সরণ $= \frac{2\pi \times 10 \times 16 \times 60 \times 60}{12 \times 3 \times 1760}$ মাইল = প্রায় 57·1 মাইল।

∴ গাড়ীর বেগ = 57·1 মাইল/ঘণ্টা।

(b) **সাভার্টের দন্তুর চক্র** (Savart's Toothed wheel) **দ্বারা :** সীবেকের যন্ত্রের ন্যায় এই যন্ত্রেরও একটি চাকৃতিকে একটি ঘূরণ-চক্রের



6.5

সাহায্যে ঘোরানো হয়। তবে এই চাকৃতির গায়ে কোন ছিদ্র নাই, কেবল ইহার পরিধিতে কতকগুলি সমদূরবর্তী দাঁত কাটা আছে। একটি পাতলা ধাতুর পাত এই দাঁতগুলির গায়ে লাগিয়া থাকে। চাকৃতিটি ঘুরাইলে এই পাতের সহিত দাঁতগুলির আঘাতে শব্দ বাহির হয় ও চাকৃতির ঘূর্ণনবেগ বাড়িলে এই শব্দের তীক্ষ্ণতা বাড়ে

চাকৃতির ঘূর্ণনবেগ প্রতি সেকেণ্ডে n, দাঁতের সংখ্যা m হইলে, শব্দের কম্পন-হার = m × n/সেকেণ্ড।

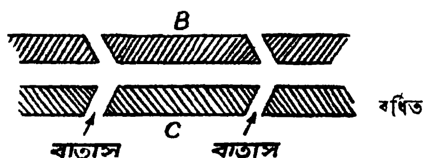
ইহার সাহায্যে তীক্ষ্ণতা নির্ণয়ের পরীক্ষা সীবেকের সাইরেনের মত।

কম্পাংকের পরিবর্তন করিবার জন্য অনেক সময়ে বিভিন্ন সংখ্যার দাঁত বিশিষ্ট কয়েকটি চাকৃতি একই অক্ষের উপরে বসাইয়া ব্যবহার করা হয়।

(c) কঞানিয়ার দ্য লা ত্যুরের সাইরেন (Cagnaird de la Tour's Siren) দ্বারা :



(a)



8·6 (b)

ইহা একটি উন্নত ধরনের সাইরেন। এই যন্ত্রে নিম্নলিখিত অংশগুলি আছে। বায়ু A-প্রকোষ্ঠে নীচের E-নল দিয়া বাতাস ঢুকানো হয়। A-যন্ত্রের উপরের পৃষ্ঠটিতে একটি গোলাকার চাকনি C বসানো আছে। C-চাকৃতিটি পুরু, ইহাতে একটি বৃত্তের পরিধি বরাবর কতকগুলি হেলানো ছিদ্র আছে, এই ছিদ্রগুলি পরস্পর সমদূরবর্তী। C-চাকতির খুব কাছে, কিন্তু একটু উপরে উহারই মত আর একটি চাকৃতি B-একটি অক্ষদণ্ডের সহিত যুক্ত আছে। B-চাকৃতিতেও ঠিক C-এর মত একই ব্যাসের বৃত্তের পরিধিতে সমান-সংখ্যক ছিদ্র করা আছে, তবে এই ছিদ্রগুলি C-এর ছিদ্রগুলির বিপরীত দিকে হেলানো [8·6 (b) নং চিত্র দেখ]। ইহার ফলে প্রয়োজন মত B-এর ছিদ্রগুলি C-এর ছিদ্রের উপরে ঠিক মত বসিতে পারে।

B-এর অক্ষদণ্ডের সহিত গীয়ারের সাহায্যে একটি ঘূর্ণন-বেগ মাপিবার যন্ত্র D বসানো থাকে।

সাইরেনটি চালাইবার জন্য E-নল দিয়া A-প্রকোষ্ঠে উচ্চ-চাপের বাতাস চালনা করা হইতে থাকে। এই বাতাস C চাকৃতির উপরের ছিদ্র দিয়া তীর চিহ্নিত পথে বাহির হয়, এবং B-এর ছিদ্র দিয়া নির্গত হয়। উহারা যখন B-চাকৃতির ছিদ্রে ঢোকে, তখন উহাদের গতিমুখ পাল্‌টাইয়া যায়, ফলে উহারা B-চাকৃতিকে আগেকার গতি-মুখের দিকে, অর্থাৎ (b) চিত্রে বাম হইতে ডানদিকে চাপ দেয় ও B চাকৃতি ঘোরা আরম্ভ করে। B-চাকৃতিটি ঘুরিয়া যখন উহার এবং C-এর ছিদ্রগুলি পরস্পর হইতে সরিয়া যায় তখন আর বাতাস বাহির হইতে পারে না; আবার B-এর ছিদ্র C-এর ছিদ্রের মুখোমুখী আসিলেই বাতাস বাহিরে আসিতে পারে। প্রতিবার যখন B-এর সমস্ত ছিদ্রপথে একসংগে অনেকটা বাতাস বাহিরে আসে তখন বাহিরের বাতাসে উচ্চ-চাপের সৃষ্টি হয়, পরের মুহূর্তেই আবার বাতাস আসা বন্ধ হয় ও তনুভবনের সৃষ্টি হয়। ফলে বাতাসে শব্দ-তরংগের সৃষ্টি হয়। A প্রকোষ্ঠে যতটা বাতাস ঢুকিতেছে তাহার সবটুকু B ও C-এর ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ছিদ্র দিয়া বাহির হইতে পারে না, ফলে A-প্রকোষ্ঠে বাতাসের চাপ বাড়িতে থাকে। এই বাতাস ছিদ্রপথে বাহির হইবার সময়ে B-কে ক্রমেই বেশী ঘাত দিতে থাকে ও B-এর ঘূর্ণনবেগ বাড়িয়া শব্দের তীক্ষ্ণতা বাড়িতে থাকে। B-এর বেগ উপযুক্ত মনে হইলে E নল দিয়া অন্তর্গামী বাতাসের পরিমাণ কমাইয়া A প্রকোষ্ঠের চাপ সমান রাখা হয় (তখন অন্তর্গামী ও বহির্গামী বাতাসের পরিমাণ সমান হয়)। ফলে সাইরেনটি একটি নির্দিষ্ট তীক্ষ্ণতার শব্দ দিতে থাকে। B চাকৃতির ঘূর্ণনবেগ D-যন্ত্রে মাপা হয়।

B-চাকৃতিতে ছিদ্রের সংখ্যা যদি m হয়, এবং উহার ঘূর্ণনবেগ n হয়, তবে সেকেণ্ডে বাতাসে $m \times n$ সংখ্যক চাপের সৃষ্টি হয়, অতএব শব্দের কম্পাংক $= m \times n$/সেকেণ্ড।

কারখানা ইত্যাদিতে এই ধরণের সাইরেন দ্বারা সময় নির্দেশ করা হয়। এই যন্ত্রে সুরেলা শব্দের তীক্ষ্ণতা নির্ণয় প্রণালী সীবেকের সাইরেনেরই মত।

(d) অনুনাদের সাহায্যে (By resonance methods): অনুনাদী বায়ুস্তম্ভ, সনোমিটার, বা হেল্‌ম্‌হোল্‌ট্‌জের অনুনাদকের সাহায্যেও সুরেলা শব্দের তীক্ষ্ণতা বাহির করা যায়। এ-বিষয়ে পূর্বেই আলোচনা করা হইয়াছে।

৪.10. শব্দের গুণ বা জাতি পরীক্ষা:

শব্দের গুণ বা জাতি উহার তরংগ-রূপ হইতে বুঝিতে পারা যায়। সেজন্য শব্দের গুণ বা জাতি পরীক্ষা করিতে গেলে উহার তরংগ-রূপ নির্ণয় করিতে হয়।

মিলারের ফোনোডাইক (Miller's Phonodeik) যন্ত্রে, বা অন্য বৈদ্যুতিক যন্ত্রে শব্দের তরংগরূপ নির্ণয় করা হয়। পরে এই তরংগরূপে কি কি কম্পাংকের ও কিরূপ বিস্তারের উপসুর আছে তাহা গণিতের সাহায্যে বা যন্ত্রে বাহির করা হয়।

৪ 11. স্বরগ্রাম (Musical Scale): কোন সুরেলা শব্দের তীক্ষ্ণতা বুঝাইতে পদার্থ-বিদ্যা উহার কম্পাংক ব্যবহার করে। কিন্তু সংগীত-শিল্পী উহাকে স্বরগ্রামের কোন ঘাট দ্বারা বুঝান। কতকগুলি বিভিন্ন কম্পাংকের একটি শ্রেণী লইয়া একটি স্বরগ্রাম তৈয়ারী হয়, এবং সুরের কোন ধ্বনিকে ইহার একটির দ্বারা বুঝানো হয়। যে কোন সংগীতকে স্বরগ্রামের সাহায্যে বুঝানো যায়।

প্রাচীন যুগ হইতে যে স্বরগ্রাম চলিয়া আসিতেছে তাহার নাম সপ্তক (Diatonic Scale)। এই স্বরগ্রামের নিম্নতম ধ্বনির কম্পাংক সাধারণতঃ 256 বা 264 হয়, এবং ইহার এক শ্রেণীতে মোট আটটি ধ্বনি ব্যবহৃত হয়, তাহার অষ্টম বা শেষ ধ্বনিটি প্রথমটির এক অষ্টক উচ্চে। এই দুইটির মধ্যে আরও ছয়টি বিভিন্ন কম্পাংকের ধ্বনি ব্যবহার করা হয়।

ভারতীয় সংগীত-শাস্ত্রে ইহাদের সা, রে, গা, প্রভৃতি শব্দ দ্বারা ও প্রতীচ্য সংগীত-সাধনায় ইহাকে Do, Re, Mi……প্রভৃতি দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। মূল সুরের কম্পাংক 256 ধরিয়া ইহাদের কম্পাংকগুলি পর পৃষ্ঠায় দেওয়া হইল।

ভারতীয়	সা	রে	গা	মা	পা	ধা	নি	সা
পাশ্চাত্য	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	do
কম্পাংক	256	288	320	341·3	384	426·6	480	512

স্বরভেদ (Musical Interval) :

শ্রোতার কানে সাধারণতঃ কোন ধ্বনির কম্পাংকের হেরফের ধরা পড়ে না, যেমন কোন স্বরগ্রামের মূল সুর অর্থাৎ 'সা' যদি 256-এর বদলে 264 কম্পাংক বিশিষ্ট হয় সাধারণ শ্রোতা তাহা ধরিতে পারেন না, কিন্তু এক ধ্বনি হইতে অন্য ধ্বনিতে গেলে উহাদের কম্পাংকের অনুপাতের সামান্য পরিবর্তনও শ্রোতা বুঝিতে পারেন। যেমন উপরের স্বরগ্রামে 'রে' ও 'সা'-এর অনুপাত 288:256 = 9:8। মূল সুরকে 264 কম্পাংক ধরিয়া 'রে' ধ্বনির কম্পাংক এই হিসাবে হয় 297। যদি 'রে' ধ্বনির কম্পাংক 297 হয় তবে উপরের স্বরগ্রামের পরিবর্তে এই স্বরগ্রামের 'সা' ও 'রে' ব্যবহারে শ্রোতার কোন অসুবিধা হয় না। স্বরগ্রামের বিভিন্ন ধ্বনির এই অনুপাতকেই স্বরভেদ বলে।

নীচের তালিকায় মূল সুরকে 1 ধরিয়া সুর-সপ্তকের স্বরভেদ দেওয়া হইল। একেবারে নীচের শ্রেণীতে পাশাপাশি দুইটি ধ্বনির স্বরভেদও দেওয়া হইয়াছে।

সা	রে	গা	মা	পা	ধা	নি	সা
256	288	320	341·3	384	426·6	480	512
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
← $\frac{9}{8}$	→ ←	$\frac{10}{9}$ → ←	$\frac{16}{15}$ → ←	$\frac{9}{8}$ → ←	$\frac{10}{9}$ → ←	$\frac{9}{8}$ → ←	$\frac{16}{15}$ →

সংস্কৃত স্বরগ্রাম (Tempered Scale) :

আধুনিক সংগীতে শাস্ত্রীয় সংগীতের বাঁধাধরা ধ্বনি বা স্বরভেদ সর্বত্র রক্ষা করা হয় না, অনেক সময়েই ইহাতে যে সমস্ত ধ্বনি ব্যবহৃত হয়। তাহাদের ও মূল সুরের স্বরভেদ নানা প্রকারের হইতে পারে।

সংগীতকে যন্ত্রের সাহায্যে প্রকাশ করিতে গেলে সেজন্যই সুর-সপ্তকের স্বরগ্রামে বাঁধা যন্ত্র ব্যবহারে অসুবিধা হয়। সে জন্য আধুনিক সংগীত-যন্ত্রে, যেমন পিয়ানোতে স্বরগ্রামকে সংস্কার করিয়া যন্ত্র তৈয়ারী করা হইয়াছে। এই সংস্কৃত স্বরগ্রামে মূল সুর হইতে অষ্টক পর্যন্ত 12টি ধ্বনি ব্যবহৃত হয়, এবং ইহাদের স্বরভেদ স্থির থাকে।

একটি ধ্বনি হইতে পরবর্তী ধ্বনির স্বরভেদ এই স্বরগ্রামে 1·0595 হয়। সুর-সপ্তক ও সংস্কৃত স্বরগ্রামের তুলনামূলক তালিকা নীচে দেওয়া হইল। এখানে মূল সুরের হিসাবে স্বরভেদ দেওয়া হইল। এই সংস্কৃত স্বরগ্রাম তোমরা হারমোনিয়ামে ব্যবহার কর।

	সা		রে		গা	মা		পা		ধা		নি	সা
সুর সপ্তক	1		1·125		1.250	1.333		1.500		1.667		1.875	2
সংস্কৃত স্বরগ্রাম	1	1.061	1.122	*	1.260	1.335	*	1.498	*	1.682	*	1.883	2

8·7

তারকা-চিহ্নিত ধ্বনিগুলি হারমোনিয়ামে কালো চাবিতে দেওয়া থাকে, ও সা, রে, গা, মা প্রভৃতি সাদা চাবিতে দেওয়া থাকে। লক্ষ্য করিয়া দেখ, শুদ্ধ 'সরগম'-এর সহিত হারমোনিয়ামের সরগমের কিছু তফাৎ রহিয়াছে, কারণ শুদ্ধ সরগম প্রাচীন সুর-সপ্তক অনুসারে সৃষ্ট, এবং হারমোনিয়ামের সরগম সংস্কৃত স্বরগ্রাম অনুসারে নির্মিত। তবে সাদা চাবিতে হারমোনিয়ামে যে স্বরগ্রাম পাওয়া যায়, তাহা প্রায় প্রাচীন সুর-সপ্তকের মতই বলা চলে। হারমোনিয়াম প্রভৃতি যন্ত্রে এইরূপ তিনটি অষ্টক ব্যবহৃত হয়, ইহাদের একটি মূল সুরের নীচে ও অন্যটি উপরে। এই তিনটি অষ্টককে খাদ হইতে চড়া পর্যন্ত উদারা, মুদারা ও তারা বলা হয়।

প্রশ্নমালা

1. সুরেলা ও সুরবর্জিত শব্দের পার্থক্য কি ?

What is the difference between a musical note and a noise? (P. U. 1949 ; Utkal 1952 ; Lond. U.)

2. সুরেলা শব্দের প্রাবল্য, তীক্ষ্ণতা ও গুণ বলিতে কি বুঝায় ব্যাখ্যা কর। ইহাদের পার্থক্য কি বুঝাইয়া দাও। কোন্ কোন্ রাশির উপর ইহারা নির্ভর করে ?

Explain clearly what is meant by loudness, pitch and quality of a musical sound. Discuss their differences. What are the quantities on which they depend?

(C.U. 1956, P. U. 51 ; Lond. U.)

3. সুরেলা শব্দের বৈশিষ্ট্য কি কি ? ইহাদের বুঝাইয়া দাও।

What are the characteristics of a musical sound? Explain them. (C. U. 1948, '51, '56.)

4. একটি সুরশলাকার ধ্বনির তীক্ষ্ণতা পরিমাপের কোন উপায় বর্ণনা কর।

Describe a method to determine the pitch of the tone emitted by a tuning fork.

5. কোন সাইরেনের বর্ণনা দাও ও ইহার সাহায্যে কি ভাবে কোন্ শব্দের তীক্ষ্ণতা বাহির করিবে বুঝাইয়া দাও।

Describe a siren. How would you use it to detrmine the pitch of a note. (C.U. 1948, 53, 56,)

6. সুরশলাকার কম্পাংক নির্ণয়ের বিবিধ পদ্ধতি বর্ণনা কর। (সাইরেন অনুনাদী স্তম্ভ ও সনোমিটার বর্ণনা করিতে হইবে)।

Discuss the various methods of determining the frequency of a tuning fork. (C. U. 1955, Pat. U. 1951.)

7. একই সুরে বাঁধা একটি সেতার ও বেহালার শব্দের পার্থক্য কি ভাবে করা যায় ?

How can the sounds of a Sitar and a Violin, emitting the same pitch, be distinguished ?

8. একই সুরে বাঁধা দুইটি যন্ত্রের ধ্বনির পার্থক্য কোন্ কোন্ বৈশিষ্ট্যের উপর নির্ভর করে ? এই বৈশিষ্ট্যগুলি কিসের উপর নির্ভরশীল ?

Wat are the essential charactristics by which the notes of two musical instruments, emitting the same pitch, can be distinguished ? What are the factors upon which these characteristics depend ? (C. U. 1957)

9. একটি সাইরেনের চাক্তিতে 120টি ছিদ্র আছে। উহা কত জোরে ঘুরিলে 384/সে. কম্পাংকের একটি সুরশলাকার সহিত এক মেল হইবে ? [মিনিটে 192 বার]।

The disc of a siren contains 120 holes. What will be its speed of rotation so that it can be in unison with a tuning fork of frequency 384 c. p. s.

10. একটি সাইরেনের চাক্তিতে ছিদ্র-সংখ্যা 100। উহা মিনিটে 192 বার ঘুরিলে উহার শব্দের কম্পাংক কত ? [320/সেকেণ্ড]।

The number of holes on the disc of a siren is 100. What will be the pitch of the sound emitted when the siren is rotation at 192 r. p. m ?

11. একটি সাইরেনের চাক্তিতে ছিদ্র সংখ্যা 25। উহা সেকেণ্ডে দশবার ঘুরিলে একটি 256 কম্পাংকের সুরশলাকার শব্দের সহিত উহার কম্পাংকের পার্থক্য কত হইবে ? [6]

A siren contains 25 holes. What will be the difference of its frequency from a tuning fork of 256 c.p.s when its speed of revolution is 10 per sec ?

12 একটি সাইরেনের ঘূর্ণন-বেগ মিনিটে 150 বার। 256 কম্পাংক-বিশিষ্ট একটি সুরশলাকার সহিত ইহার কম্পাংকের পার্থক্য 6 হইলে ইহার চাক্তিতে কয়টি ছিদ্র আছে ? [100]

The speed of revolution of a siren is 150 per min. If it

pitch differs by 6 c.p.s from that of a tuning fork of 256 c. p. s., what is the number of holes on its disc ?

13. একটি দাঁত-যুক্ত চাকায়, 64টি দাঁত আছে। চাকাটি ঘুরিবার সময়ে উহার গায়ে একটি ধাতুর পাত চাপিয়া ধরিলে 320 কম্পাংকের শব্দ বাহির হয়। চাকার ঘূর্ণন বেগ কত ? [সেকেণ্ডে 5 পাক]

A toothed wheel has 64 teeth. When it is revolving, a metal plate pressed against it produces a sound of 320 c.p.s. Find it speed of rotation.

14. একটি খোলা অর্গান নলের দৈর্ঘ্য 83 সেমি.। ইহা শূন্য ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রায় যে মূল সুর উৎপন্ন করিল তাহা একটী সাইরেনের সহিত একমেল হইল। সাইরেনের ছিদ্র সংখ্যা 100 হইলে ঘূর্ণন-বেগ কত ? বাতাসের শব্দের বেগ 332 মি./সে.। [মিনিটে 120 বার]।

An open organ-pipe, 83 cm. emits a fundamental at 0°C, in unison with a siren having 100 holes on its disc. Find the speed of rotation of the siren. Vel. of sound = 332 m./s.

15. একটি তারের দৈর্ঘ্য 50 সেমি. 0·8 গ্রাম। ইহাকে 10 কিলোগ্রাম টানে রাখিলে ইহার মূল সুর মিনিটে 60 বার ঘূর্ণায়মান একটি সাইরেনের সহিত প্রায় একমেল হয়। সাইরেনের ছিদ্র সংখ্যা কত ? [117]

A wire, 50 cm. long, weighing 0·8 gm. and under a tension of 10 kg. vibrates almost in unison with a siren rotating 60 times per minute. Find the number of holes in the siren.

16. সংগীতের স্বর-গ্রাম সম্বন্ধে যাহা জান সংক্ষেপে বর্ণনা দাও।

Discuss in brief what you know about the musical scales.

বিষয়-মুখ প্রশ্নাবলী

(Objective Questions)

1. শুদ্ধ কি অশুদ্ধ বল—

(i) রবার ইস্পাত অপেক্ষা বেশী স্থিতিস্থাপক।

(ii) স্থিতিস্থাপক সীমার বাহিরে হুকের সূত্র প্রযুক্ত হয় না।

(iii) কার্য ও শক্তি একই রাশি।

(iv) ষ্টীম এঞ্জিন অন্তর্দহন এঞ্জিন।

(v) ম্যাগ্‌নেটাইটের দুই প্রান্ত বিপরীত ধর্মবিশিষ্ট।

(vi) প্রান্তদেশে চুম্বকের চুম্বকত্ব সর্বাপেক্ষা বেশী।

(vii) প্রাকৃতিক বা কৃত্রিম চুম্বক অপেক্ষা তড়িৎ-চুম্বক স্থায়ী।

(viii) চৌম্বক পদার্থের অচুম্বকিত অবস্থায় নিজস্ব মেরু থাকে না।

(ix) চুম্বককে আঘাত করিলে বা উত্তপ্ত করিলেও উহার চুম্বকত্ব নষ্ট হয় না।

(x) কোন কোন চুম্বক এক মেরু বিশিষ্ট হয়।

(xi) চুম্বকের প্রান্তস্থিত আণবিক মেরুর সংখ্যা যত বৃদ্ধি পায়, মেরুশক্তি ততই বাড়িতে থাকে।

(xii) পৃথিবীর চৌম্বক মেরুকেই ভৌগোলিক মেরু বলে।

(xiii) চুম্বককে উত্তপ্ত করিলে উহার মেরু উল্‌টাইয়া যায়।

(xiv) পরমাণুর কেন্দ্রে কোন আধান থাকে না।

(xv) ডানিয়েল কোষ অপেক্ষা লেক্লান্‌সে কোষে ছদন ভাল ভাবে নিবারিত হয়।

(xvi) তাপমাত্রা বাড়িলে পরিবাহীর রোধ বাড়ে।

(xvii) বর্তনীতে বহিঃরোধ ও অন্তঃরোধ সমান্তরাল সজ্জায় থাকে।

(xviii) ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারে তড়িতের চৌম্বক প্রভাব ব্যবহৃত হয়।

(xix) কোন বস্তুকে না কাঁপাইলে শব্দ উৎপন্ন হয় না।

(xx) শব্দশক্তি বাস্তব মাধ্যম দিয়া যায় না, শূন্য মাধ্যম দিয়া যায়।

(xxi) শব্দ-মাধ্যম স্থিতিস্থাপক ও নিরবচ্ছিন্ন হওয়া চাই।

(xxii) গ্যাসের মধ্য দিয়া তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য দুই তরংগই যায়।

(xxiii) কঠিন ও তরলের মধ্য দিয়া কেবল অনুদৈর্ঘ্য তরংগ যায়।

(xxiv) কঠিন ও তরলে শব্দের বেগ গ্যাসে শব্দের বেগ অপেক্ষা বেশী হয়।

(xxv) আলোকের মত শব্দও নির্দিষ্ট নিয়মে প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত হয়।

(xxvi) প্রতিধ্বনির সাহায্যে সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয় করা যায়।

(xxvii) সেতু পার হইবার সময় সৈন্যদের একসংগে পা ফেলা বন্ধ থাকে।

(xxviii) তারের কম্পনাঙ্ক তারের ব্যাসের সমানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

(xxix) খোলা নলে মূল স্বরের বেলায় দুই মুখে স্থির বিন্দুর উদ্ভব হয়।

1. State the correctness or otherwise of the following—

(i) Rubber is more elastic than steel.

(ii) Hooke's Law does not hold beyond elastic limit.

(iii) Work and energy are same quantities.

(iv) Steam Engine is an internal combustion engine.

(v) The two ends of a magnetite possess opposite polarities.

(vi) A magnet has the maximum strength at its end.

(vii) An electro-magnet lasts longer than a natural or artificial magnet.

(viii) An unmagnetised magnetic substance has not poles.

(ix) A magnet does not lose its magnetism even by heat or shock.

(x) Some magnets have single poles.

(xi) As the number of molecular magnets at the end of a magnet increases, its strength also increases.

(xii) The Geographical Pole of the Earth is its Magnetic Pole.

(xiii) The polarity of a magnet is reversed by heating.

(xiv) There is no charge at the centre of an atom.

(xv) Polarisation is more effectively removed in a Leclanche' cell than in a Daniel cell.

(xvi) The resistance of a conductor increases with temperature.

(xvii) The external and internal resistances in an electric circuit are arranged in parallel.

(xviii) A tangent galvanometer uses the magnetic effect of current.

(xix) Sound is not produced unless an object vibrates.

(xx) Sound Energy goes through vacuo, and not through matter.

(xxi) Sound propagation requires a continuous and elastic medium.

(xxii) A gas propagates both transverse and longitudinal waves.

(xxiii) A solid or a liquid propagates only longitudinal waves.

(xxiv) The velocity of sound in solids and liquids is higher than that in gases.

(xxv) Sound, like light, follows definite laws of reflection and refraction.

(xxvi) Depths of seas can be determined by the help of echoes.

(xxvii) Soldiers break their steps whilst crossing bridges.

(xxviii) The frequency of vibration of a string varies with its diameter.

(xxix) Nodes are produced at the two ends of an open tube emitting its fundamental note

2. শূন্যস্থান পূর্ণ কর—

(i) তাপের কার্য-তুল্যাংক —জুল।

(ii) কার্যের — কে ক্ষমতা বলে।

(iii) 1 অশ্ব-ক্ষমতা = 746 —।

(iv) স্থিতিস্থাপক গুণাংকের একক —।

(v) বিপরীতধর্মী মেরু পরস্পর — করে।

(vi) তড়িৎ-চুম্বক — ব্যবহৃত হয়।

(vii) চৌম্বক বল মেরুর দূরত্বের বর্গের —পরিবর্তিত হয়।

(viii) চুম্বকের চারিপাশে যতদূর পর্যন্ত চুম্বকের প্রভাব বিস্তৃত হয় সেই যায়গাকে — বলে।

(ix) কোন স্থানে চুম্বকের অক্ষ অনুভূমিক তলের সহিত যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে — বলে।

(x) মেরু সংযোজক কাল্পনিক রেখাকে — অক্ষ বলে।

(xi) প্রোটন — এবং ইলেক্ট্রন — আধানযুক্ত।

(xii) যে আধান বাতাসে 1 সে.মি দূরে অবস্থিত সমপরিমাণ আধানের উপর 1 ডাইন বল প্রয়োগ করে তাহাকে 1 —— আধান বলে।

(xiii) সুষম বলক্ষেত্রে বলরেখাগুলি —।

(xiv) সরল কোষে ধনাত্মক তড়িদ্বার —, ঋণাত্মক তড়িদ্বার —, এবং তড়িৎ-দ্রব পাতলা —।

(xv) লেক্লান্সে কোষে — কে ছদন-নিবারক হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

(xvi) ডানিয়েল কোষে ধনাত্মক তড়িদ্বার — যুক্ত হয়।

(xvii) ভোল্ট = অ্যাম্পিয়ার × —।

(xviii) দুইটি রোধের তুল্যরোধ শ্রেণী সজ্জায় যত, সমান্তরাল সজ্জায় তাহার অপেক্ষা —।

(xix) তড়িৎবাহী পরিবাহীতে মুক্ত তাপ = $\frac{Ect}{—}$।

(xx) যখন কোন কণিকা তরংগ-গতির সমকোণে কম্পিত হয় তখন উহার কম্পনকে — কম্পন বলে।

(xxi) শব্দের তীব্রতা দূরত্বের বর্গফলের — পরিবর্তিত হয়।

(xxii) শব্দ তরংগের কম্পনাংক যত বেশী হইবে উহার তরংগ-দৈর্ঘ্য ততই — হইবে।

(xxiii) দুইপ্রান্তে আবদ্ধ তারের কম্পনে — তরংগ উৎপন্ন হয়।

Fill up the blanks :-

(i) The mechanical equivalent of heat is — Joule.

(ii) The — of work is called power.

(iii) 1 Horse-power = — Watts.

(iv) The unit of elastic modulus is —.

(v) Opposite poles — each other.

(vi) — is used in Electro-magnets.

(vii) Magnetic force varies — as the square of the distance from the pole.

(viii) the region over which the influence of a magnet extends is known as — .

(ix) The angle which the axis of a magnet makes with the horizontal at any place is called—.

(x) The imaginery line joining the poles of a magnet is called —

(xi) Proton carries — and an electron —charges.

(xii) The charge which acts on an equal charge placed 1 cm. apart in air by giving 1 dyne force is called 1—

(xiii) The lines of force in a uniform field are – .

(xiv) In a simple cell, the positive plate is made of — , the negative plate is — , and the electrolyte is dilute — .

(xv) A Leclanche' cell uses — as depolariser.

(xvi) — is liberated at the positive terminal of a Daniel cell.

(xvii) Volt=Ampere x — .

(xviii) The equivalent resistance of two conductors in parallel is – than that in series.

(xix) In a current carrying conductor,

$$\text{generated heat} = \frac{Ect}{—}.$$

(xx) When a particle vibrates at right angles to the direction of propagation of wave, then it is said to execute — vibration.

(xxi) The wave-length — as the frequency of vibration increases.

(xxii) The vibration of a wire fixed at both ends produces —waves.

৪. হাঁ কিংবা না বল ।—

(i) দুইটি ভেক্টর রাশির লব্ধি সামন্তরিকের সূত্র অনুসারে বাহির হয় কি ?

(ii) অনুদৈর্ঘ বিকৃতি ও অনুদৈর্ঘ পীড়নের অনুপাতকে দৃঢ়তা গুণাংক বলে কি ?

(iii) ঘড়িতে দম দিয়া স্থিতিশক্তি সঞ্চয় করা হয় কি ?

(iv) ষ্টীম এঞ্জিনে কয়লার তাপশক্তিকে কার্যে পরিণত করা হয় কি ?
(v) পেট্রোল এঞ্জিন বহির্দহন এঞ্জিনের উদাহরণ কি না ?
(vi) একটিমাত্র মেরুকে কি পৃথক করা সম্ভব নয় ?
(vii) আকর্ষণের ফলে আবেশ হয় কি ?
(viii) বিপরীত মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে কি না ?
(ix) এক প্রকারের আধানকে পৃথক করা সম্ভব নয় কি ?
(x) নির্জল কোষে জল থাকে কি ?
(xi) তড়িচ্চালক বল কি সর্বদাই তড়িদ্বারের বিভব-বৈষম্যের সমান হইবে ?
(xii) বৈদ্যুতিক বাতিতে বৈদ্যুৎ শক্তি ব্যয়ে আলোক শক্তি উৎপন্ন হয় কি ?
(xiii) তারের রোধাংক তার যে পদার্থে প্রস্তুত তাহার উপর নির্ভর করে কি ?
(xiv) শব্দের উৎপত্তি স্থলে কম্পন হয় কি ?
(xv) শব্দশক্তির সঞ্চালনের জন্য কোন বাস্তব মাধ্যমের দরকার হয় কি না ?
(xvi) হাটের মাঝখানে দাঁড়াইলে কানে সুরযুক্ত শব্দ শোনা যায় না কি ?
(xvii) তারের দুইপ্রান্তে কি স্পন্দনবিন্দু ও মাঝখানে স্থিরবিন্দুর উদ্ভব হয় ?

Answer 'Yes' or 'No'—

(i) Can the resultant of two vectors be obtained by the Law of Parallelogram ?
(ii) Is the ratio of Longitudinal Stress and Strain called the Modulus of Rigidity ?
(iii) Is potential energy stared in winding a clock ?
(iv) Does the steam engine utilise the heat energy of coal ?
(v) Is the petrol engine an example of external combustion engine ?
(vi) Is it not possible to isolate a pole ?
(vii) Is attraction the cause of induction ?

(viii) Do opposite poles attract each other ?
(ix) Is it not possible to isolate one kind of electricity ?
(x) Does a dry cell contain water ?
(xi) Is the electro-motive force always equal to the terminal voltage of a cell ?
(xii) Is light energy produced by spending elcctrical energy in an electric lamp ?
(xxiii) Does the specific resistance of wire depend on its material ?
(xiv) Are vibration generated at the source of sound ?
(xv) Is a material medium necessary for the propagation of sound energy ?
(xvi) Is not a musical sound heard when one stands in a crowded place ?
(xvii) Does a vibrating wire have antinodes at its two ends and node at its centre ?
